

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.Ф. Луговський
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2020 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з спеціальності **131 Прикладна механіка**

(код і назва)

на тему: Гідравлічний привід змінної потужності автономного об'єкту

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-61-2
(шифр групи)

Яремко Андрій Романович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: к.т.н., доцент Ганпанцурова О.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____
(назва розділу) ст.викладач Ковтун А.І. _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М.

(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)
(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут механіко-машинобудівний

(повна назва)

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

(повна назва)

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.Ф. Луговський
(підпис) (прізвище ініціали)

“ _____ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Яремку Андрію Романович

1. Тема проекту: Гідравлічний привід змінної потужності автономного об'єкту

керівник проекту: Ганпанцурова Оксана Сергіївна, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “ 20 ” травня 2020 року № 1120-с

2. Термін подання студентом проекту 10.06.2020

3. Вихідні дані до проекту Розробити конструкцію компенсаційного акумулятора, розрахувати гідравлічну систему за заданими даними для різних діапазонів температур, $t^{\circ} = -30; -15; 0; +15; +30; +45; +60$

4. Зміст пояснювальної записки Розділ 1 Аналіз існуючих автономних об'єктів
Розділ 2 Розрахунок основних параметрів гідроприводу змінної потужності
Розділ 3 Експериментальні дослідження ефективності роботи компенсаційного акумулятора
Розділ 4 Охорона Праці
Розділ 5 Технологія машинобудування

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

Перший лист – гідравлічна схема принципова, другий складальне креслення компенсаційного акумулятора, третій лист – деталювання, четвертий лист – графіки аналізу ефективності гідроакумулятора.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	ст.викл. Ковтун А.І.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання 13.02.2020_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	<u>Примітка</u>
1	Аналіз існуючих автономних об'єктів	05.04.2020	
2	Розрахунок основних параметрів гідроприводу змінної потужності	18.04.2020	
3	Аналіз експериментальних досліджень ефективності роботи компенсаційного акумулятора	23.05.2020	
4	Охорона праці	20.05.2020	
5	Технологія машинобудування	25.05.2020	
6	Гідравлічна схема принципова	29.05.2020	
7	Складальне креслення компенсаційного акумулятора	01.06.2020	
8	Деталювання	05.06.2020	
9	Графіки аналізу ефективності гідроакумулятора	08.06.2020	

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Дипломний проект на тему: «Гідравлічний привід змінної потужності автономного об'єкту», складається із п'яти розділів, пояснювальна записка містить 69 сторінок, включно із 40 рисунками і 13 таблицями та 4 листа формату А1 графічного матеріалу. Мета дипломної роботи - розрахунок та проектування компенсаційного гідроаккумулятора із змінним об'ємом газової камери для гідравлічної системи з трьома рівнями потужності. Акумулятор із змінним об'ємом газової камери здатен адаптуватись до різного діапазону температур для коректної роботи автономної системи.

У цій роботі було проведено: аналіз існуючих автономних систем, гідравлічний розрахунок системи, вибір гідравлічного обладнання. Також був проведений експеримент для визначення ефективності акумулятора в даній системі та аналіз доцільності встановлення акумуляторів в подібних системах.

Ключові слова: акумулятор, компенсація витрати, потужність, змінний об'єм.

Abstract

Degree project on the topic: "Hydraulic drive of variable power for autonomous object" consists of five sections, the explanatory note contains 69 pages, including 40 figures and 13 tables, and 4 sheets of A1 format for graphic material. The aim of the thesis is calculation and design of a compensating hydraulic accumulator with a variable volume of the gas chamber for a hydraulic system with three power levels. The accumulator with a variable volume of the gas chamber is able to adapt to different temperature ranges for the correct operation of the autonomous system.

In this work were carried out: analysis of existing autonomous systems, hydraulic calculation of the system and the choice of hydraulic equipment. An experiment was also conducted to determine the efficiency of the battery in this system and to analyze the feasibility of accumulator in such systems.

Keywords: accumulator, flow rate compensation, power, variable volume.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Гідравлічний привід змінної потужності автономного об'єкту

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОНОМНИХ ОБ’ЄКТІВ.....	11
1.1 Приклади автономних систем	11
1.2 Гідропривод з трьома рівнями потужності для автономної вітроенергетичної установки.....	18
1.3 Особливості гідропневматичних акумуляторів	20
1.4 Мета та задачі проекту	23
Розділ 2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПРИВОДУ ЗМІННОЇ ПОТУЖНОСТІ	25
2.1 Вибір робочої рідини	25
2.2 Гідравлічний розрахунок трьох режимів роботи гідроприводу.	26
2.3 Розрахунок компенсаційного гідроакумулятора	30
Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОМПЕНСАЦІЙНОГО АКУМУЛЯТОРА	39
3.1 Будова експериментального стенду	39
3.2 Задачі експериментальних досліджень	42
3.3 Результати експериментальних досліджень	45
3.4 Порівняльний аналіз результатів	54
3.5 Висновки до розділу.....	56
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
4.1 Загальна характеристика мікроклімату робочої зони	57

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Гідравлічний привід змінної потужності автономного об’єкту	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Яремко А.Р.						
Перевір.		Ганпанцирова						1 : 1
Т. Контр.								
Реценз.						Арк.	1	Аркушів 1
Н. Контр.						НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»		
Затверд.								

4.2 Освітлення робочого приміщення.....	58
4.3 Електробезпека.....	60
4.4 Пожежна безпека гуртожитку	61
Розділ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	63
5.1 Технологічний розділ.....	63
5.2 Вибір типового технологічного процесу і обробка поверхонь.....	65
ВИСНОВКИ	71
ЛІТЕРАТУРА:	72

ВСТУП

Автономні системи – це машини та системи, які здатні виконувати серію операцій, послідовність яких визначається результатом попередньої операції або з урахуванням зміни зовнішніх обставин, що контролюється і вимірюється системою [1].

На відміну від більш традиційних машин, які мають єдину ціль або діапазон діяльності яких визначений з самого початку, автономна система пристосовує свою поведінку та операції відповідно до обставин, які вона виявляє. Така система постійно проводить моніторинг внутрішніх та зовнішніх змін і адаптує свої дії відповідно до виявлених параметрів.

Подібні системи широко розповсюджені у легкій та важкій промисловостях, енергетиці, логістиці, військово-промисловому комплексі та інших галузях, де можливо автоматизувати процеси.

Зазвичай автономними системами вважають роботів. Ця думка пов'язана з тим, що промисловий робот, яким часто є маніпулятор, пов'язаний з послідовними операціями обробки чи складання комплектуючих та високоточною перевіркою та зворотнім зв'язком, щоб переконатися, що послідовність операцій та якість їх виконання відбувається максимально точно. Автономні системи також включають типи антропоморфних роботів «андроїдів», які взаємодіють з людиною. Раніше подібні роботи були лише науковою фантастикою, але зараз вони починають ставати реальністю.

Автоматизація поєднує датчики і системи управління для включення складних послідовностей операцій, які мають бути виконані в різних видах систем. В даний час вони варіюються від системи автопілоту літаків до ряду складних заходів, які здійснює сучасна пральна машина.

Ступені самостійності змінюються і є часто дуже обмеженими. Але зараз деякі інженерні технології об'єднуються, щоб розширити асортимент та можливості автономних систем. Розвиток датчиків з бездротовим зв'язком та універсальність їхнього підключення дозволяє безперервно надсилати потік даних. Контролери, в об'єкті, працюють з вхідними даними та можуть

активувати відповідні засоби реагування. Нові види архітектури програмного забезпечення дозволяють приймати більш швидкі та складні рішення автоматично в межах системи. Перелік можливостей для автономних систем стрімко зростає в усі сторони.

Однак існують обмеження та проблеми. Автономні системи добре працюють в межах визначених і контрольованих ситуацій і існує величезний потенціал для подальшого розвитку в цих сферах. Багато систем, де надійність та керованість механізмами системи може бути дуже високою, досі потребує взаємодії з людиною. Наприклад, технологія автопілоту для автомобілів не є великим стрибком вперед від систем у сьогоdnішньому автомобілі, бо, поки що, не вдається правильно реагувати на всі інші автомобілі на дорозі, які керуються людьми чи на пішоходів та велосипедистів, які можуть створити ситуації, що непередбачені системою.

Повна автономність - це коли об'єкт:

- Отримує інформацію про навколишнє середовище;
- Працює тривалий період без втручання людини у процес;
- Підлаштовується відповідно зовнішніх чинників;
- Запобігає ситуаціям, які можуть спричинити поломку;
- Уникає ситуацій, шкідливих для людей.

Як і усі механізми, автономні об'єкти все ще потребують регулярного технічного обслуговування з боку людини.

Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОНОМНИХ ОБ'ЄКТІВ

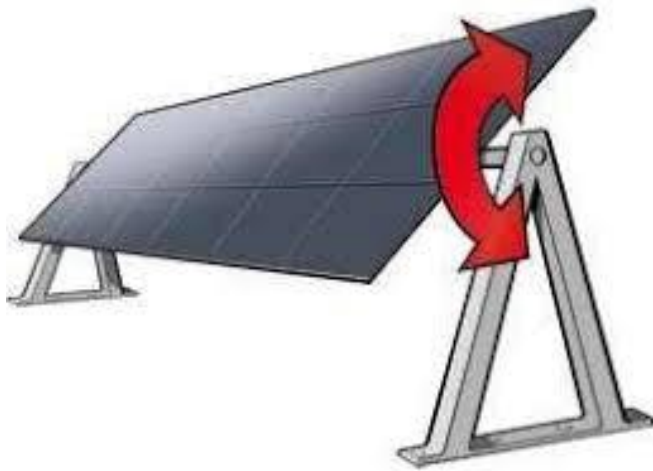
1.1 Приклади автономних систем

Цінність роботів та інших типових автономних систем полягає у тому, що вони розширюють і підсилюють можливості людини. Індустріальні роботизовані системи дозволяють перевершити людину у випадках, де потрібна сила та швидкість. Як правило, їх основна перевага в промисловості – це точність і витривалість.

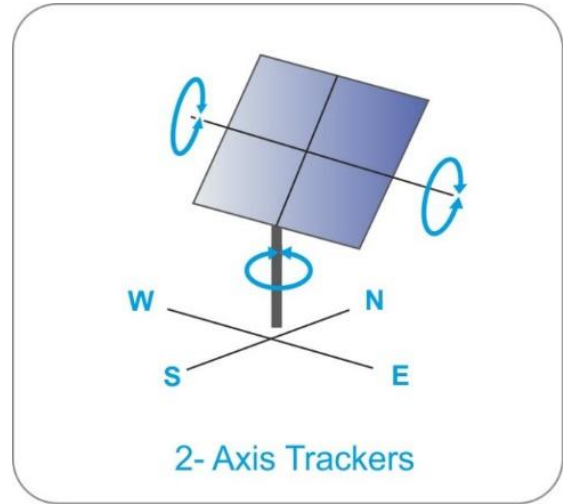
Перевагою автономних систем є їх здатність працювати у місцях і ситуаціях, в яких людина не здатна. Сюди входять небезпечні місця, наприклад, робота всередині ядерних реакторів для перевірки несправних та недоступних місць. [1]

Сонячні електростанції з поворотними панелями. Людство активно переходить на відновлювальні джерела енергії, тому кількість як промислових, так і «домашніх» станцій непинно зростає. Наявність системи стеження підвищує ККД таких станцій, оскільки для максимально ефективної генерації енергії, панель повинна знаходитись під кутом 90° до сонячних променів. Виділяють два основних типи динамічних систем стеження – одновісні (рис 1.1 а) і двовісні (рис 1.1 б) [2].

Одновісні системи – протягом дня автоматично змінюють кут в горизонтальній площині. Сонячна станція рухається по траєкторії «Схід-Захід» і може збільшувати свою продуктивність на 15-20% у порівнянні зі статичною системою.



а)



б)

Рис. 1.1 Сонячна панель із динамічною системою стеження: а) одновісна, б) двовісна

Двовісні – рухаються і в горизонтальній, і у вертикальній площині, тобто повертаються за сонцем для максимальної енергоефективності. На відміну від статичної системи, такі системи протягом року можуть збільшити продуктивність на 30-50%.

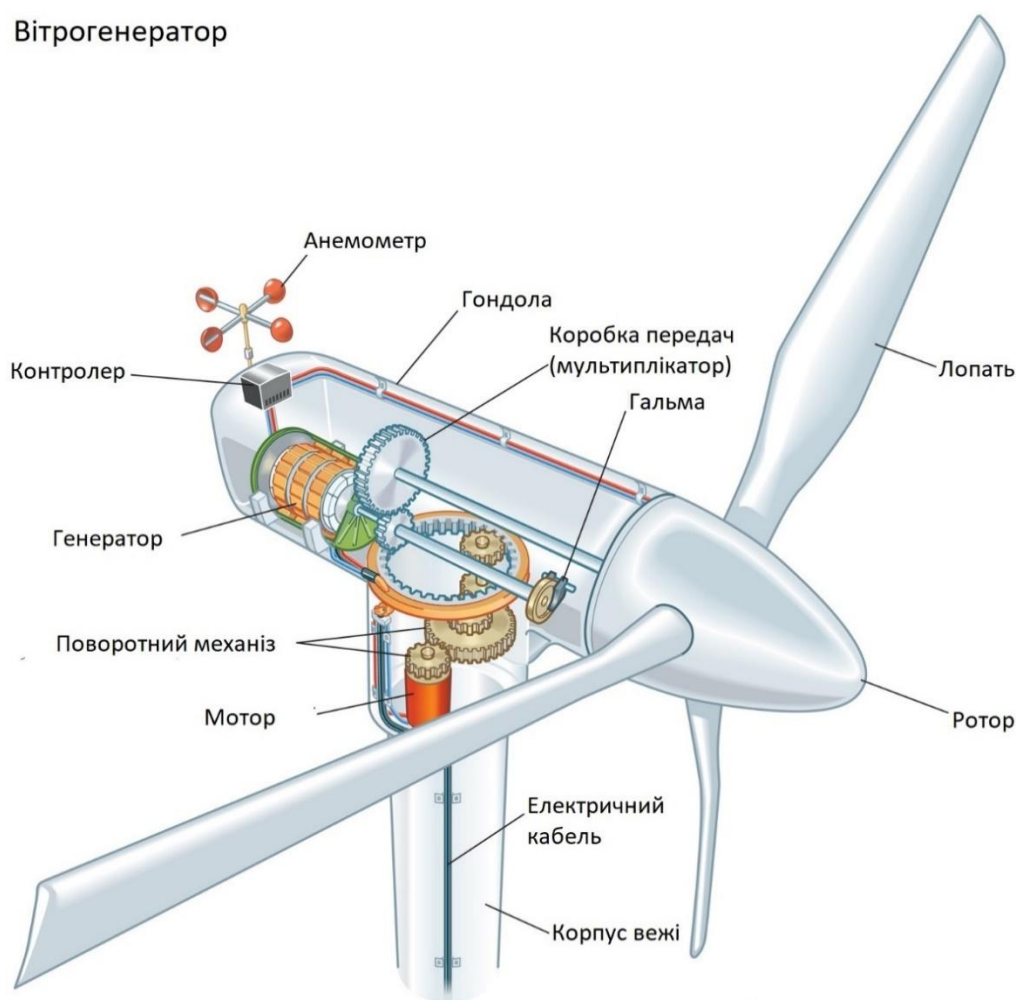
Вітрогенератор (вітрова турбіна). Це пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру на електричну, що складається з вітрової турбіни, електрогенератора та допоміжного обладнання (Рис. 1.2) [3].

За областю використання вітрогенератори умовно можуть бути поділені на:

- Промислові;
- Приватні;
- Спеціального призначення.

Потужність сучасних промислових вітрогенераторів досягає 8 МВт. Як правило, такі генератори об'єднують у мережу. Основна відмінність вітроелектростанцій від теплових електростанцій — повна відсутність витратної сировини та відходів. Застосування таких електростанцій економічно доцільне в районах з високим середньорічним значенням швидкості вітру або у віддалених від промислових електромереж районах.

Вітрогенератор



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

Рис. 1.2. Конструкція вітрогенератора [4]

На кожній турбіні встановлені датчики напрямку та швидкості вітру. Контролер реагує на сигнал датчиків і автоматично, за допомогою гідравлічної системи, повертає гондолу паралельно напрямку вітру та підбирає оптимальний кут нахилу лопатей для максимально ефективної генерації енергії, а у випадку сильного вітру гальмує швидкість обертання валу (рис. 1.3) [5].

Рух гідроциліндру контролюється пропорційним розподільником V1, із закритим клапаном V2. Прямий хід циліндра відбувається за допомогою збільшеної витрати від гідроаккумулятора. Якщо потрібна аварійна зупинка валу, то циліндр повністю висувається. На рисунку 1.3 зображено дві найпоширеніші схеми для аварійного живлення циліндра. В реальних схемах

інколи використовують кілька акумуляторів, з'єднаних паралельно для отримання бажаної ємності.

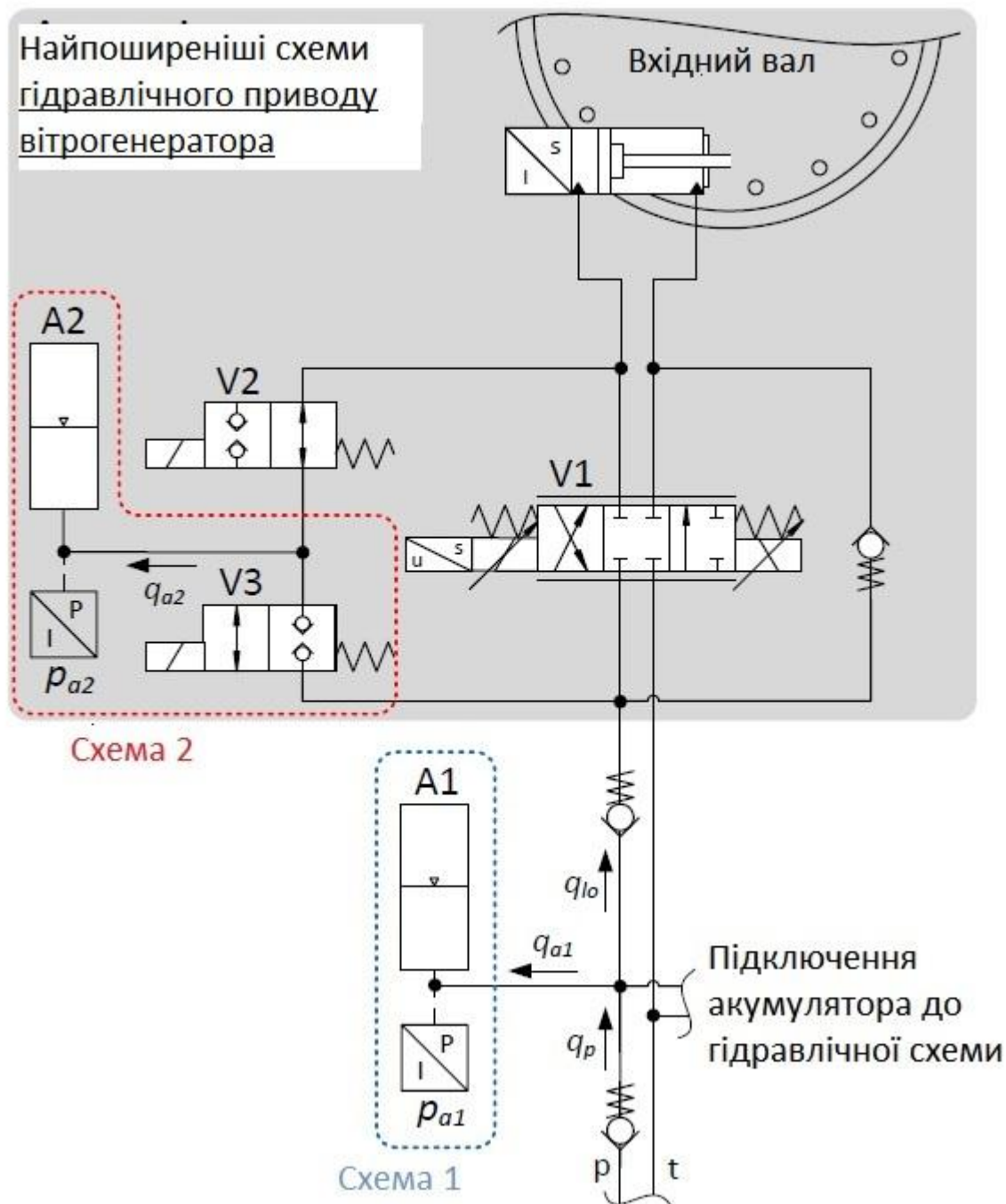


Рис. 1.3 Гідравлічна схема гальмування вхідного валу вітрогенератора

На схемі 1 акумулятор працює для обох випадків прямого та зворотного руху поршня. На схемі 2 акумулятор ізолюваний клапанами від гідравлічного контуру. Клапан V3 вмикається, коли датчик тиску Pa2 показує зниження

тиску відносно заданого значення. Схема 2 може робити екстрене гальмування у випадку, коли в напірній лінії з якихось причин зник тиск.

Вітрогенератори приватного призначення мають невелику потужність і використовуються разом з стаціонарною електромережею як джерела додаткової енергії, або як складові (разом з сонячними панелями, акумуляторними батареями, інверторами) в системах автономного електрозабезпечення. До спеціальних вітрогенераторів належать маленькі генератори для аварійного живлення або генератори, що живлять системи транспортних засобів (кораблів, літаків) тощо.

Робот-порохотяг це широко розповсюджений приклад автономної системи. Він оснащений штучним інтелектом та призначений для автоматичного прибирання приміщень. Відноситься до класу побутових роботів та інтелектуальної побутової техніки для розумного будинку. Робот-порохотяг може здійснювати прибирання за визначеним сценарієм або за командою користувача. Під час прибирання робот самостійно рухається по визначеній поверхні, прибираючи з неї сміття. Зустрівши на шляху перепону, робот приймає рішення про спосіб її подолання на основі спеціальних алгоритмів. По закінченні прибирання більшість роботів самостійно повертаються до зарядного пристрою [6].

Пристрій найчастіше являє собою диск діаметром 28-35 см і висотою 9-13 см (рис.1.4). Переважно великий контактний сенсор, встановлений в передній частині пристрою, з інфрачервоним датчиком по центру у верхній передній частині. Залежно від моделі, пристрої можуть бути оснащені інфрачервоними датчиками «віртуальна стіна». Перше і друге покоління моделей потребувало ручного вказування площі кімнати, у моделях третього покоління такої необхідності немає. Для роботи робот-порохотяг використовує внутрішні акумулятори, тому потребує регулярної підзарядки. Нові моделі мають можливість самостійно знайти зарядний пристрій, зв'язуючись з ним через інфрачервоний датчик. Тривалість зарядки пристроїв першого і другого покоління — близько 12 годин, третього покоління — близько 3 годин. Роботи-порохотяги, як правило, мають невелику висоту, досить низьку, щоб пройти під

ліжком або іншими меблями. Коли робот-порохотяг розуміє, що він застряг, він перестає рухатися і починає подавати звукові сигнали, які допомагають власнику його виявити [6].

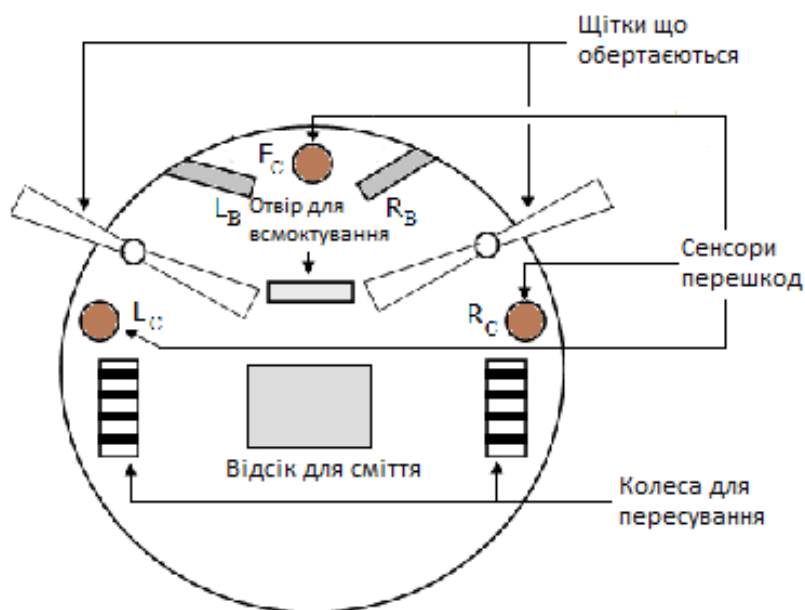
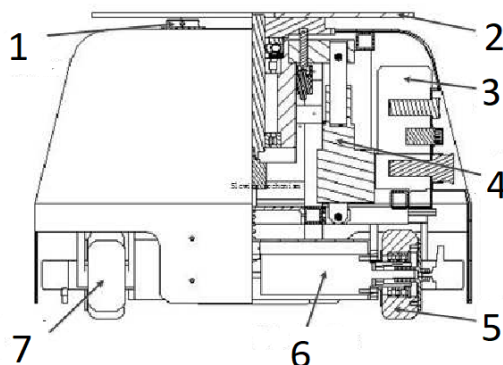


Рис. 1.4 Робот-порохотяг. Вид знизу.

Роботи для складу. Усе частіше фізично складну чи монотонну роботу замість людини виконує робот. Так, наприклад, на складах світового гіганта інтернет торгівлі Amazon.com переміщенням товарів по території складу займаються спеціальні роботи (рис. 1.5 а, б) [7,8].



а)



б)

Рис.1.5. Робот який перевозить стелажі з товаром на складі компанії Amazon.com: а) зовнішній вигляд робота, б) конструкція: 1 - обертальний механізм; 2 - підйомна платформа; 3 – літєвий акумулятор; 4 – підйомний механізм; 5 – колесо, 6 – мотор; 7 – універсальне колесо для поворотів навколо осі

Робот, керуючись спеціальним алгоритмом системи, пересувається по складу до заданих системою точок із стелажми (рис. 1.6). Діставшись потрібного стелажа, робот заїжджає під нього і піднімає на кілька міліметрів вгору. Далі із стелажем направляє до зони, де працюють люди. Після того як людина закінчить свою роботу, стелаж тим же роботом відвозиться на вільне місце у складську зону. Щоб не загубитись на величезній території роботи орієнтуються по розмітці на підлозі [8].



Рис. 1.6 Схема організації роботи на автоматизованому складі

Отже, головними особливостями систем керування автономних об'єктів є можливість довготривалої роботи без зовнішнього впливу/контролю людини, здатність реагувати на зміни зовнішніх параметрів і вносити необхідні корективи у роботу системи, як правило, більш високий ступінь захисту (IP 67 та вище), наявність вбудованих додаткових систем дублювання/резервування тощо. Такі системи постійно моніторять зміну як зовнішніх, так і внутрішніх параметрів і вносять в роботу автономного об'єкту відповідні корективи. Вони швидше за людину реагують на зміни та здатні працювати безперервно. Завдяки цьому збільшується ефективність системи в цілому. Одним з основних недоліків таких систем є необхідність у

періодичному технічному огляді, тобто абсолютна автономність поки що не можлива.

1.2 Гідропривод з трьома рівнями потужності для автономної вітроенергетичної установки

Головна проблема вітроенергетики це непостійність основного ресурсу – вітру. Генератор конвертує механічну енергію обертання вітряка у електроенергію, але працює ефективно лише при певній вхідній потужності. Через непостійність вітру необхідна частота обертання вхідного валу існує лише короткі проміжки часу. При повільному обертанні лопатей генерується мало енергії. При високій частоті обертання доводиться гальмувати турбіну, так як електрогенератор не здатен генерувати більше, ніж те, на що він розрахований та, що більш важливо при надлишковій вхідній потужності, рухомі механізми можуть пошкодитися [9].

Перелічені недоліки стандартних вітрогенераторів можна вирішити впровадженням гідравлічної системи відбору потужності (рис. 1.7). Вхідний вал з'єднується з насосом, а електрогенератори з гідромоторами. Залежно від вхідної потужності насоса система підключає відповідні мотори з електрогенераторами, що розраховані на різну потужність. Відповідно, при малій вхідній потужності працює лише мотор із «найслабшим» генератором, а при високій – мотор з потужнішим генератором. У випадку надлишкової потужності працюють усі мотори. Подібна система може мати два та більше ступенів. Ефективність генерування енергії може бути збільшено приблизно у 3-4 рази [9].

Слабкою стороною цієї системи є короткочасні пориви вітру. В таких випадках система може не встигати перемикатися між моторами. Дану проблему можна вирішити встановленням гідроаккумулятора, що дозволить згладити проміжки відсутності вітру та збільшити загальну енергоефективність системи.

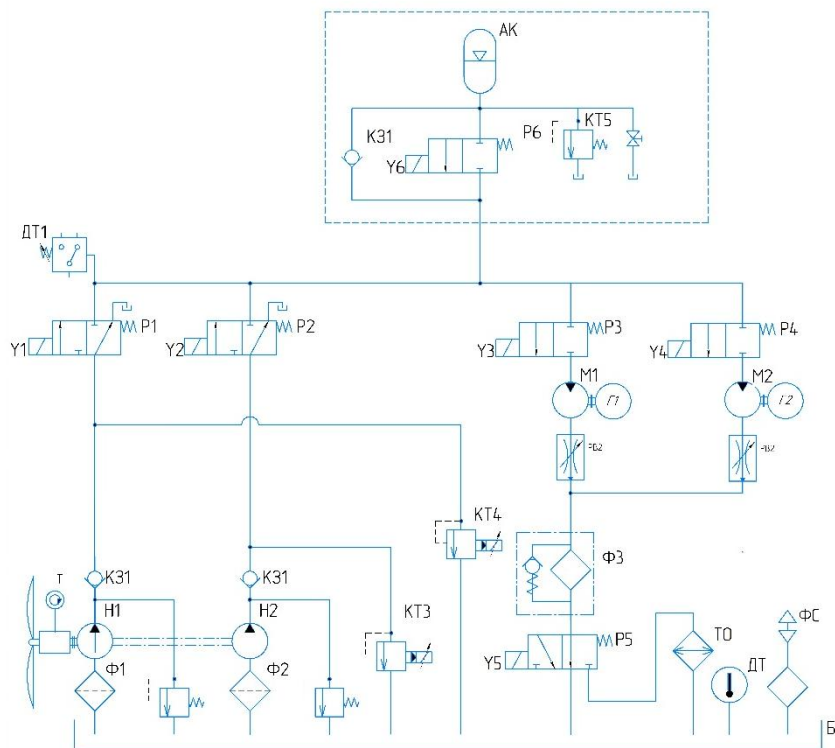


Рис. 1.7 Схема вітроенергетичної установки із гідравлічною системою відбору потужності

Система має три рівня відбору потужності. Вхідна потужність вимірюється на валі вітряка за допомогою тахометра. При мінімальній потужності працює насос Н1, розподільники Р1, Р3 та гідромотор М1, який з'єднаний з генератором Г1. При збільшенні швидкості вхідного валу, система перемикається на потужніший насос Н2, вимикає Р1 і Р3, вмикає Р2 і Р4. Працює мотор М2 і потужніший генератор Г2. Якщо швидкість валу знову зростає, тоді система вмикає обидва насоси та мотори, що характеризує третій рівень потужності. Регулятор витрати РВ1 та РВ2 обмежують витрату на моторах та підтримують її постійною для того, щоб частота обертання валу не перевищувала допустиме значення генератора.

Для компенсації витрати, у випадках коли вхідна потужність є нестабільною, передбачено акумулятор АК. Якщо тиск в системі падає, то датчик тиску ДТ подає сигнал на контролер і відбувається вмикання розподільника Р6 і акумулятор віддає накопичену енергію в систему. Однією із задач проекту є обґрунтування вибору типу гідроакумулятора, тому далі проаналізуємо особливості існуючих конструкцій акумуляторів.

1.3 Особливості гідропневматичних акумуляторів

Гідравлічний акумулятор – пристрій для накопичування робочої рідини, що знаходиться під надлишковим тиском [10].

У більшості гідроприводів використовуються гідропневматичні (навантажені стисненим газом) акумулятори з роздільним елементом між газом та рідиною. Сила стисненого газу визначає величину гідравлічного тиску, оскільки усі сили знаходяться у рівновазі. По конструктивному виконанню гідропневматичні акумулятори поділяються на балонні, поршневі і мембранні.

Гідропневматичні акумулятори можуть виконувати різні задачі, наприклад:

- накопичення енергії;
- накопичення запасу рідини;
- аварійне керування;
- компенсація сил;
- демпфування механічних імпульсів;
- демпфування гідравлічних ударів;
- демпфування вібрації і ударів;
- демпфування пульсації;
- підпружинення механізмів, що рухаються;
- відтворення гальмівної енергії;
- підтримання фіксованого значення тиску;
- компенсація витрат або об'єму.

За рахунок використання гідропневматичних акумуляторів потужність насоса може бути суттєво понижена. Для цього необхідно, щоб подача насоса за час циклу лише трохи перевищувала сумарне споживання робочої рідини. Таким чином, у тактах робочого циклу, де споживання робочої рідини відсутнє чи нижче, ніж середня витрата насоса, відбувається наповнення (зарядка) гідропневматичного акумулятора, а в моменти прискореного ходу чи великої витрати різниця між витратою, що споживається гідроприводом і подачею насоса, компенсується за рахунок гідроакумулятора [10].

При наявності гідроаккумулятора досягається ефект економії енергії. Для гідроприводів з високим короткочасним споживанням робочої рідини або з коротким часом циклу з точки зору економії найбільш раціональним рішенням буде саме використання гідропневматичних акумуляторів.

В залежності від необхідного робочого об'єму обирають між трьома основними типами конструкцій гідропневматичних акумуляторів. Для малих робочих об'ємів використовують мембранні гідроаккумулятори, для середніх – балонні, для великих робочих об'ємів – поршневі [10].

Мембранні акумулятори складаються із високоміцного сталевого корпусу, що має кулеподібну або циліндричну форму. В середині знаходиться мембрана, виготовлена із пластичного матеріалу, який виконує функцію роздільного елемента. Але через малий робочий об'єм даний тип акумулятора для виконання поставленої задачі не підходить.

У балонних акумуляторах використовується балон для розділення газу та рідини. Камера з рідиною з'єднана з гідросистемою. При збільшенні тиску в системі, газ в балоні стискається і рідина потрапляє в акумулятор. При зниженні тиску – стиснутий газ витісняє робочу рідину у гідросистему. Балонні акумулятори можуть бути встановлені як вертикально (в пріоритеті), так і горизонтально чи навіть під кутом [10].

У поршневих акумуляторах (рис. 1.8) поршень розділяє газову та рідинну камери. Поршковий акумулятор може працювати в будь-якому положенні, але вертикальне положення, коли газова камера знаходиться зверху залишається в пріоритеті, оскільки дозволяє уникнути можливого осаду частинок рідини та забруднень на поршні і їх потрапляння в ущільнення.

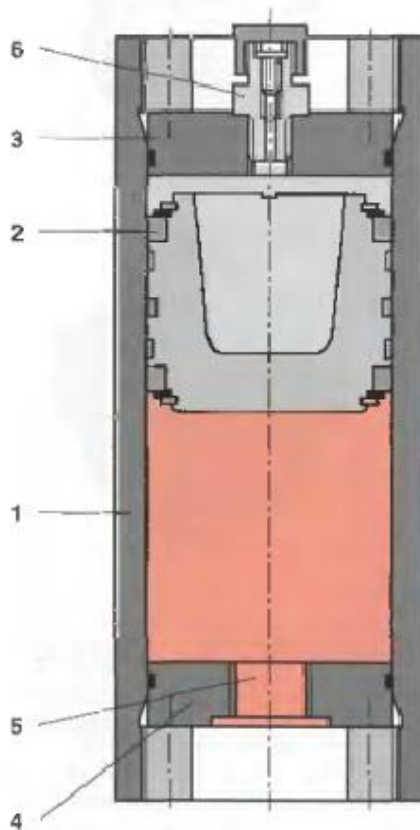


Рис. 1.8 Основні елементи поршневого гідроакумулятора:
гільза 1, поршень 2 із системою ущільнень, кришки 3 і 4 з отвором для
підводу рідини 5, зарядний вентиль 6 [10]

Гільза виконує дві функції: по-перше, вона сприймає внутрішній тиск, по-друге, є направляючою для поршня, що розділяє камери газу та рідини. Внутрішня поверхня гільзи оброблена з найвищою точністю та якістю. Спеціальна система ущільнень забезпечує мінімальне тертя. Таким чином між газом і рідиною досягається рівень перепаду тиску не більше одного бара. Також вони найбільш пристосовані для підключення додаткової газової ємності.

У поршневих акумуляторах можливий контроль положення поршня. Для цього передбачено шток з кулачком, який діє на кінцевий вимикач. Зазвичай за допомогою такої системи виконується керування вмиканням або вимиканням насосу. Альтернативний варіант це поршень з магнітним кільцем та герконами чи магнітострикційним датчиком для більш точного контролю положення поршнем. Це дозволить суттєво зменшити габарити конструкції.

Одним з недоліків можна вважати підвищену масу елемента, що розділяє газове і гідравлічне середовище і пов'язане з цим зниження швидкодії, а також тертя поршневих ущільнень. В результаті цих факторів корисний робочий тиск знижується приблизно на 10%, а швидкість руху поршня в процесі роботи не повинна перевищувати 2 м/с.

На сьогоднішні день поршневі акумулятори, в залежності від моделі, можуть мати робочий об'єм від 0,25 до 1000 л та витримувати тиск до 750 бар. Чим вищі параметри то, відповідно, більші маса та габарити.

Даний тип акумулятора дозволяє акумулювати великі об'єми робочої рідини, а проста конструкція легко піддається модернізації.

Використання гідропневматичних акумуляторів в автономних системах ускладнюється зміною температурного режиму навколишнього середовища. Температура суттєво впливає на стан газу у акумуляторі, що призводить до зміни його характеристик, що для коректної роботи системи є не припустимим. У цій дипломній роботі буде запропонована конструкція для регулювання об'єму газової камери, щоб компенсувати температурні розширення/звуження газової камери.

1.4 Мета та задачі проекту

Мета дипломного проекту – підвищення ефективності роботи вітрогенератору з гідравлічною системою відбору потужності шляхом встановлення у неї компенсаційного гідроакумулятора. Система гідравлічного відбору потужності вирішує проблему із змінною потужністю, але не може вирішити проблему короточасного зникання вітряної енергії. Гідравлічний акумулятор, залежно від об'єму накопиченої енергії, здатен компенсувати проміжки відсутності вітру, що в свою чергу збільшить загальний ККД системи.

Основні задачі дипломного проекту:

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Аналітичний огляд та визначення особливостей роботи автономних систем.
- Аналіз роботи, переваг та недоліків гідроприводу змінної потужності вітроенергетичної установки.
- Проведення гідравлічних розрахунків та вибір параметрів для трьох режимів роботи гідроприводу.
- Модернізація конструкції компенсаційного гідроаккумулятора та розрахунок основних параметрів його налаштування.
- Проведення експериментальних досліджень ефективності використання гідроаккумулятора на макеті гідроприводу змінної потужності.

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПРИВОДУ ЗМІННОЇ ПОТУЖНОСТІ

2.1 Вибір робочої рідини

Оскільки автономна система має стабільно працювати протягом року, то при виборі робочої рідини необхідно враховувати широкий діапазон температури навколишнього середовища, а відповідно і зміну робочої температури гідроприводу.

З огляду на вхідні параметри можна обрати рідину HYDRANSAFE HFDU 46, яка є біорозкладною вогнестійкою рідиною з високими експлуатаційними показниками на основі етерів (табл. 2.1). Рекомендується для гідравлічного обладнання, що працює в умовах високих температур та з підвищеним ризиком виникнення самозаймання рідини, наприклад, при плавленні сталей та чавунів, в шахтах тощо. HYDRANSAFE HFDU 46 знижує ризик спалаху, що присутній при використанні мінеральних масел, у випадках розриву шлангів чи коли витоки створюють масляний туман поблизу джерел, які можуть спричинити займання рідини. Також рекомендується у місцях, де є ризик потрапляння води у рідину [11].

Міжнародні специфікації - ISO 6743/4 HFDU та ISO 12922.

Переваги цієї рідини:

- високі мастильні характеристики;
- висока температура самозаймання;
- низька температура застигання;
- високі антикорозійні властивості відносно металів;
- продукт безпечний для здоров'я і для навколишнього середовища, оскільки є біорозкладним;
- верхня межа температури експлуатації - 120°C.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики обраної рідини

HYDRABSAFE HFDU46	Стандарт	Од.вим.	Значення
Колір	-	-	Прозорий
Густина при 15°C	ASTM D445	кг/м ³	920
В'язкість при 40°C	ASTM D445	мм ² /с	47,5
В'язкість при 100°C	ASTM D445	мм ² /с	9,35
Індекс в'язкості	ASTM D2270	-	185
Температура спалахування	ASTM D92	°C	310
Температура застигання	ASTM D97	°C	-42

2.2 Гідравлічний розрахунок трьох режимів роботи гідроприводу

Спочатку проводимо гідравлічні розрахунки для оцінки роботи гідроприводу при кожній номінальній потужності. Для початкових розрахунків візьмемо наступні вхідні данні вітрогенератора у трьох режимах роботи (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Основні параметри роботи гідроприводу

1й режим	2й режим	3й режим
N1 = 2260 Вт	N2 = 4520 Вт	N3 = 6780 Вт
P = 15,07 МПа	P = 18,08 МПа	P = 23,93 МПа
Q = 8,93 л/хв	Q = 14,93 л/хв	Q = 17,06 л/хв

Початкові дані для гідравлічного розрахунку:

- L = 10м - довжина трубопроводу;
- D = 10мм - діаметр трубопроводу;
- P = 920 кг / м³ - густина робочої рідини при 15°C;
- t ° = -30; -15; 0; +15; +30; +45; +60°C - температура робочої рідини;
- ν = 1300, 700, 310, 160, 93, 45, 26.5 м²/с - коефіцієнт кінематичної в'язкості.

Гідравлічні втрати в лініях складаються із втрат на гідравлічне тертя ΔP_T , втрат у місцевих опорах ΔP_M і втрат у гідроапаратах ΔP_A [10, 12].

Розрахунок втрат тиску на тертя:

$$\Delta P_T = \frac{(0,5\lambda l \rho V^2)}{d_T},$$

де λ - коефіцієнт тертя; l - довжина трубопроводу; ρ - густина робочої рідини; V - середня швидкість рідини, d_T - діаметр труби або шланга.

Коефіцієнт тертя λ залежить від режиму течії рідини й визначається по числу Рейнольдса:

$$Re = \frac{V * d_T}{\nu},$$

де ν - кінематична в'язкість рідини.

При ламінарному русі рідини ($Re < 2320$).

Враховуючи можливість звуження і викривлення перерізу труби, при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = \frac{75}{Re}.$$

При турбулентному русі ($Re \geq 2320$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольдса й від відносної шорсткості стінок каналу. Сталеві труби мають шорсткість $\Delta = 0,03\text{мм}$, труби з кольорових металів вважаються практично гладкими [12,13,14].

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}.$$

Розрахунок втрат тиску на місцевих опорах.

При $Re > 10^5$ коефіцієнт тертя практично не залежить від Re і можна прийняти $\lambda = 0,02$. Втрати на місцевих опорах визначимо по формулі:

$$\Delta P_M = 0,5 * \rho * \varepsilon * V^2,$$

де ε - коефіцієнт місцевого опору (визначається характеристиками гідроапаратури) [12,13,14]:

- коефіцієнт місцевого опору в коліні: $\varepsilon_{\text{коліно}} = 0,13$;
- коефіцієнт місцевого опору на дроселі: $\varepsilon_{\text{дрос}} = 3$;
- коефіцієнт місцевого опору в трійнику: $\varepsilon_{\text{трійник}} = 2$;

- коефіцієнт місцевого опору в зворотньому клапані: $\varepsilon_{\text{звор.клап.}} = 2$;
- коефіцієнт місцевого опору в штуцері: $\varepsilon_{\text{штуцера}} = 0,1$.

Всі місцеві опори зустрічаються на ділянках, де гідролінією є металева труба, тому швидкість v беремо як швидкість рідини в металевій трубі.

$$\sum \Delta P_M = \Delta P_{\text{кол.}} * n_1 + \Delta P_{\text{дрос.}} * n_2 + \Delta P_{\text{тр.}} * n_3 + \Delta P_{\text{зв.кл.}} * n_4 + \Delta P_{\text{штуц}} * n_5,$$

де n_{1-5} – кількість елементів у гідросистемі.

Розрахунок втрат тиску у гідроапаратах

$$\Delta P_a = \Delta P_M \left(\frac{Q_d}{Q_N} \right)^2,$$

де Q_d – дійсне значення витрати на гідроапаратурі, ΔP_M – значення втрат тиску при номінальній витраті Q_N .

Виробник гідроапаратури в технічній документації вказує значення втрати тиску на гідроапаратурі, тому дані беремо звідти.

Втрата потужності залежить від номінальної витрати з урахування числа Re і розраховується як:

$$\Delta N_i = \sum_L \Delta P_{ji}(Re) * Q_i + \sum_Z \Delta P_{\epsilon} \left(\frac{Q_i^2}{f_T^2} \right) * Q_i,$$

де ΔP_{ji} втрати тиску у каналах і лініях, ΔP_{ϵ} – втрати тиску у місцевих опорах, f_T - площа живого перерізу труби.

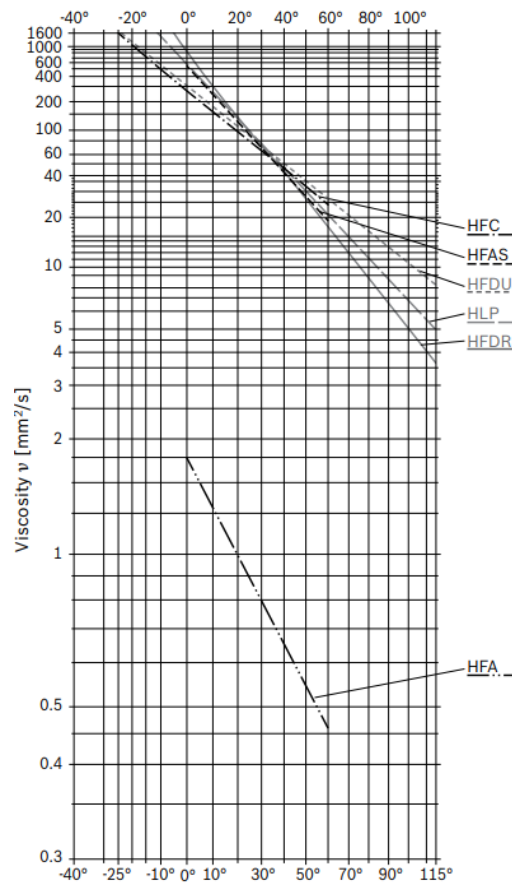


Рис. 2.1 Діаграма залежності коефіцієнту кінематичної в'язкості від температури [15]

Але однією з особливостей роботи гідропривода ВЕУ є його функціонування впродовж року, тобто в широкому діапазоні зміни температури навколишнього середовища. Враховуючи вищезгадану умову, перерахуємо втрати тиску та потужності (табл. 2.4). Для цього використовуємо діаграму зміни в'язкості обраної робочої рідини (рис. 2.1).

Таблиця 2.4 Зміна в'язкості робочої рідини в залежності від температури

t°C	v mm ² /c	1й режим		2й режим		3й режим	
		ΔP , Па	ΔN , Вт	ΔP , Па	ΔN , Вт	ΔP , Па	ΔN , Вт
-30	1300	83284,88	83294,43	139240,55	139256,71	159112,55	159131,11
-15	700	44891,57	44901,12	75051,06	75067,22	85765,42	85783,98
0	310	19935,91	19945,47	33327,89	33344,05	38089,78	38108,34
15	160	10337,59	10347,14	17280,52	17296,68	19753	19771,56
30	93	6050,33	6059,88	10112,69	10128,85	11562,57	11581,13

45	42	2786,9	2796,45	4656,59	4672,74	5328,06	5346,62
60	26,5	1795,07	1804,63	2998,36	3014,51	3433,26	3451,82

В результаті отримуємо графік зміни втрат тиску (потужності) в залежності від зміни температури робочої рідини (рис. 2.2), який може бути використано для подальших розрахунків номінальних параметрів роботи обладнання.

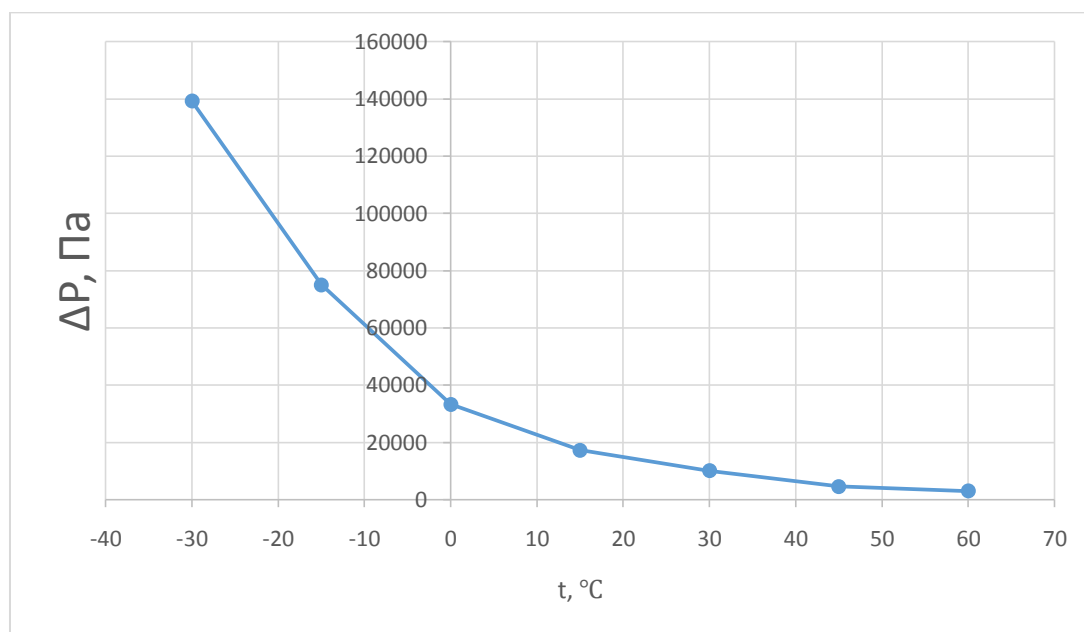


Рис. 2.2 Графік залежності втрати тиску від температури

2.3 Розрахунок компенсаційного гідроаккумулятора

Параметри що необхідні для розрахунку гідропневматичного акумулятора (рис. 2.3):

- P_0 – тиск зарядки
- P_1 – мінімальний робочий тиск
- P_2 – максимальний робочий тиск
- V_0 – ефективний об'єм газу
- V_1 – об'єм газу при тиску P_1
- V_2 – об'єм газу при тиску P_2
- ΔV – корисний об'єм що витісняється



Рис. 2.3 Параметри гідроаккумуляторів: 1 – акумулятор заряджений стиснутим азотом; 2 – мінімальний робочий тиск, невелика кількість робочої рідини потрапила у акумулятор; 3 – акумулятор при максимальному робочому тиску.

Зміна стану газу (рис. 2.4) може відбуватися за:

- Ізохорним процесом;
- Ізотермічним процесом;
- Адіабатним процесом;
- Політропним процесом.

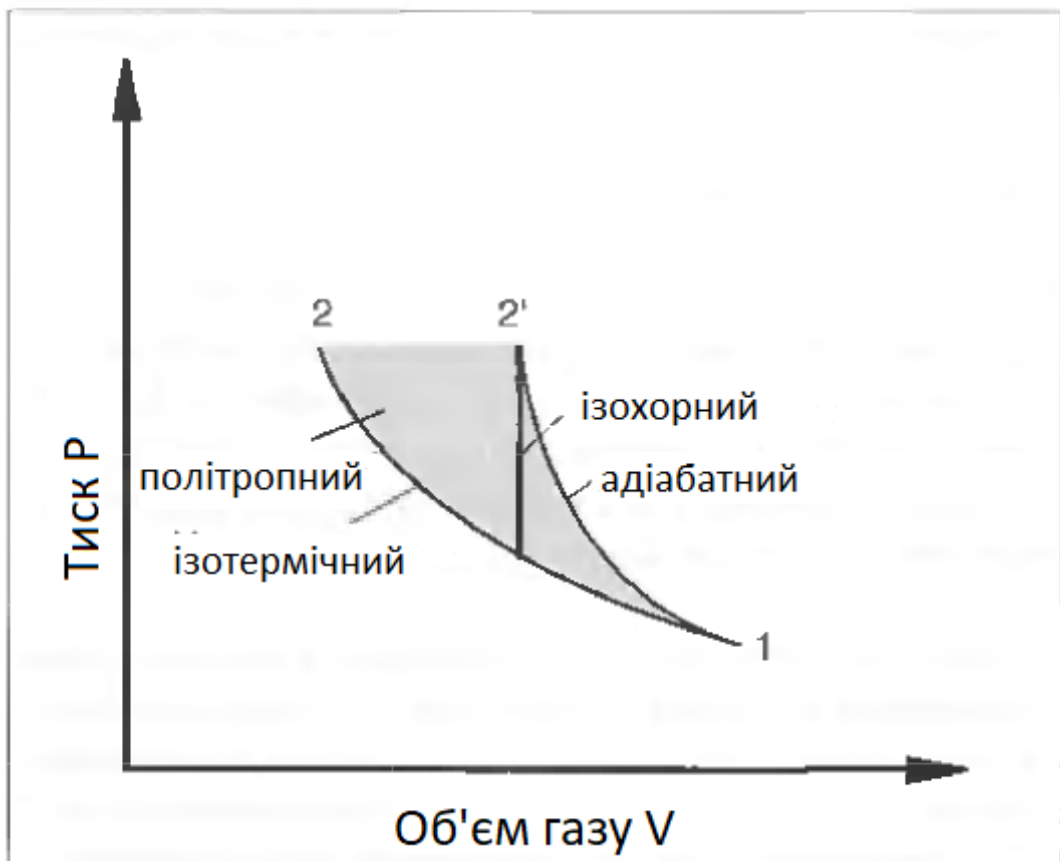


Рис. 2.4 Зміна стану газу на P-V діаграмі

Для ізохорного процесу характерна незмінність об'єму ($V = \text{const}$). В цьому стані газ перебуває під час заповнення газовою камери при низькій температурі з подальшою зміною тиску за рахунок теплообміну з навколишнім середовищем.

Газовий закон [10, 12]:

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1} = \text{const.}$$

Для ізотермічного процесу теплообмін з навколишнім середовищем і подальша зміна температури не відбувається. Даний стан спостерігається у випадках коли цикл зарядки – розрядки триває довгий період часу.

Газовий закон:

$$P * T = P_1 * T_1 = \text{const.}$$

В адіабатному процесі цикл зарядки – розрядки проходить на стільки швидко, що теплообмін з навколишнім середовищем не можливий.

Газовий закон [10, 12]:

$$P * V^k = P_1 * V_1^k = \text{const.}$$

З цього закону отримуємо залежність між температурою та об'ємом і між температурою та тиском:

$$T * V^{k-1} = T_1 * V_1^{k-1}$$

$$T * P^{\frac{k-1}{k}} = T_1 * P_1^{\frac{k-1}{k}}.$$

В цих рівняннях k – адіабатний експонент (рис. 2.5), який приймають рівним 1.4 для двоатомних газів в нормальних умовах.

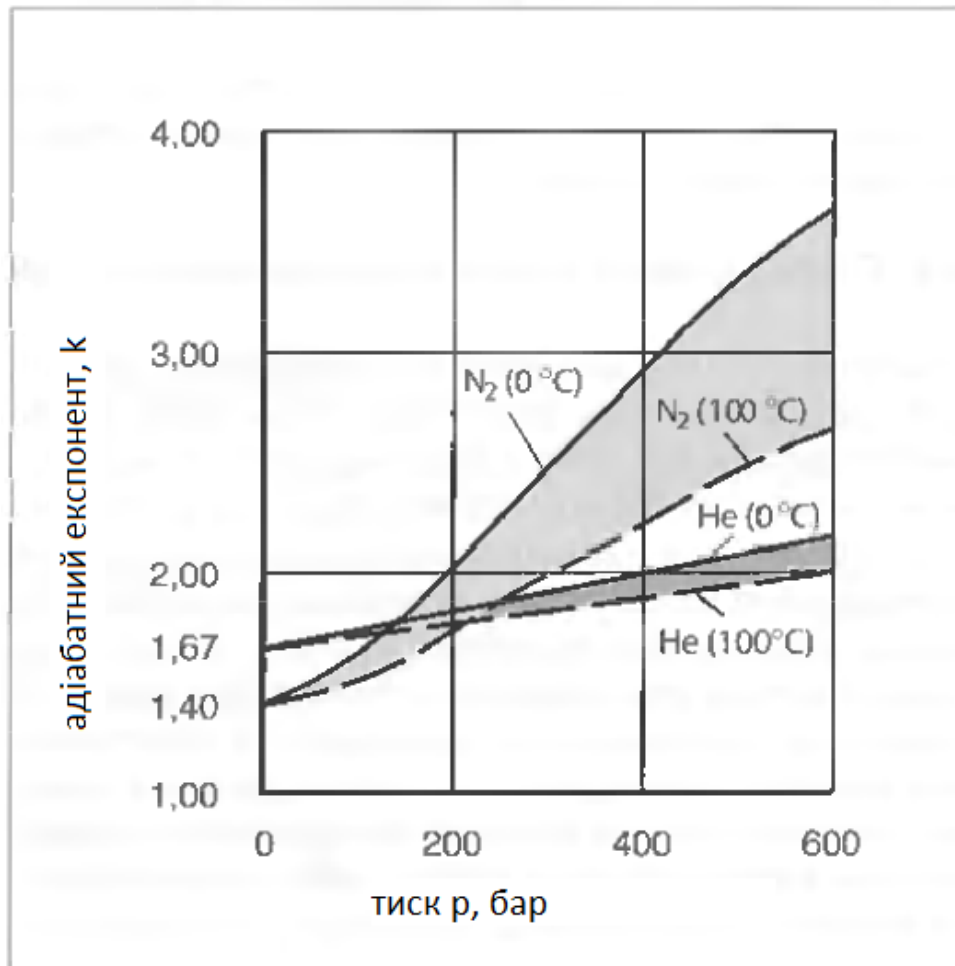


Рис. 2.5 Адіабатний експонент для азоту і гелію в залежності від тиску при температурах 0 і 100 °С

Оскільки режими експлуатації ніколи не відповідають теоретичним моделям, тобто ніколи не відбуваються без теплообміну, реальна зміна стану газу знаходиться між адіабатним і ізотермічним процесами. Такий процес називають політропним. Математичні рівняння для цього процесу аналогічні тим, що приймають для адіабатного процесу, але адіабатний експонент k замінюють політропним N [10, 12].

Вибір рівнянь для розрахунку акумулятора залежить від тривалості циклу зарядки – розрядки. Основою для вибору відповідного рівняння можуть бути наступні правила:

- Для циклу тривалістю < 1 хвилини \rightarrow адіабатний процес.
- Для циклу тривалістю > 3 хвилин \rightarrow ізотермічний процес.
- Для циклу тривалістю між 1 і 3 хвилинами \rightarrow політропний процес.

Різні типи газів, в тому числі і азот, на практиці ведуть себе з відхиленнями від ідеальних законів, особливо в області високих тисків. Ця поведінка називається реальною (не ідеальною) поведінкою газу. Взаємозв'язок між величинами стану тиску P , температури T і об'єму V може бути застосованим для реальної поведінки лише за допомогою наближених рівнянь. В практичних умовах використання таких рівнянь є складним, дорогим та вимагає великої обчислювальної потужності комп'ютера. У зв'язку з цим рекомендується вводити коефіцієнт корекції, що враховують поведінку реального газу [10, 12].

Відповідно, об'єм для ізотермічного процесу дорівнюватиме:

$$V_{0\text{ real}} = C_i * V_{0\text{ ideal}},$$

для адіабатного:

$$V_{0\text{ real}} = C_a * V_{0\text{ ideal}}.$$

Коефіцієнти корекції C_i і C_a для цих рівнянь можна отримати із матеріалів, що надаються виробником акумуляторів.

Для вибору об'єму акумулятора необхідно забезпечити подачу потрібного об'єму робочої рідини ΔV , беручи до уваги додаткові умови, такі як:

- максимальний робочий тиск,
- максимальна та мінімальна робоча температура,
- допустимий перепад тисків.

Процес розрахунку починається таким чином, що спочатку зміна стану між робочими тисками P_1 і P_2 розглядається як адіабатний процес. Це припущення допустимо, оскільки в будь-якому випадку всі інші зміни будуть враховані.

Після перевірки часу циклу, відхилення від адіабатного процесу можна відкоригувати і отримати результати з урахуванням коефіцієнтів C_i і C_a , отриманих з документації виробника.

Тиск зарядки повинен вибиратися в діапазоні 0.7 – 0.9 від мінімального робочого тиску при максимальній температурі експлуатації. Це дозволяє уникнути роботи роздільного елемента поблизу донного клапана, що благополучно впливає на довговічність акумулятора [10, 12].

Вхідні дані для гідравлічного розрахунку:

- мінімальний тиск – 150 бар;
- максимальний тиск – 250 бар;
- час зарядки акумулятора – 8 с;
- робоча температура $t = (-30, -15, 0, 15, 30, 45, 60) ^\circ\text{C}$;
- час розрядки акумулятора – 2,5 с.

Так як акумулятор працює короткі проміжки часу, то при процесах, що швидко протікають теплообмін із середовищем практично відсутній і зміна стану газу проходить по адіабатному закону з показником адіабати $k=1,4$ [12, 13]:

$$\frac{V_n}{V_k} = \left(\frac{P_n}{P_{min}} \right)^{\frac{1}{k}} - \left(\frac{P_n}{P_{max}} \right)^{\frac{1}{k}} .$$

Звідси маємо:

$$V_k = \frac{V_n}{\left(\frac{P_n}{P_{min}} \right)^{\frac{1}{k}} - \left(\frac{P_n}{P_{max}} \right)^{\frac{1}{k}}} ,$$

де:

- k – показник адіабати, отриманий експериментальним шляхом,
- V_k – конструктивний об'єм акумулятора,
- V_n – корисний об'єм акумулятора,
- P_{max} – максимальний робочий тиск газу в акумуляторі,
- P_{min} – мінімальний робочий тиск,
- P_n – тиск зарядки газом:

$$P_n = 0.85 * P_{min},$$

$$P_n = 0.85 * 150 = 127,5 \text{ бар},$$

$$V_k = \frac{5}{\left(\frac{127,5}{150} \right)^{\frac{1}{1,4}} - \left(\frac{127,5}{250} \right)^{\frac{1}{1,4}}} = \frac{5}{0.27213} = 18.37 \text{ л}.$$

Коефіцієнт корекції $C_a=1,2$, отже реальне значення:

$$V = C_a * V_k$$

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = 1.2 * 18.37 = 22.04 \text{ л.}$$

Отже, потрібен акумулятор з робочим об'ємом газу більше 22.04 літри.

Обираємо поршневий гідроакумулятор HYDAC SK350, його характеристики [16]:

- Номінальний об'єм 2,5-550л.
- Максимальний робочий тиск 350 бар.
- Діаметр поршня 250мм, Зовнішній діаметр гільзи 300мм.
- Довжина для 23л= 877,2мм.

Знаходимо необхідний тиск зарядки газом за нормальних умов:

$$P_0 = P_n \frac{T_0}{T_p},$$

де:

T_0 – температура в Кельвінах при 20°C=293К,

T_p – робоча температура в Кельвінах.

Так як у нас робоча температура змінюється, відповідно і змінюватиметься необхідний тиск зарядки (табл. 2.4, рис.).

Таблиця 2.4 Залежність тиску зарядки відповідно до робочої температури

t, °C	P_0 , бар
-30	153.73
-15	144.8
0	136.84
15	129.71
30	123.29
45	117.47
60	112.18

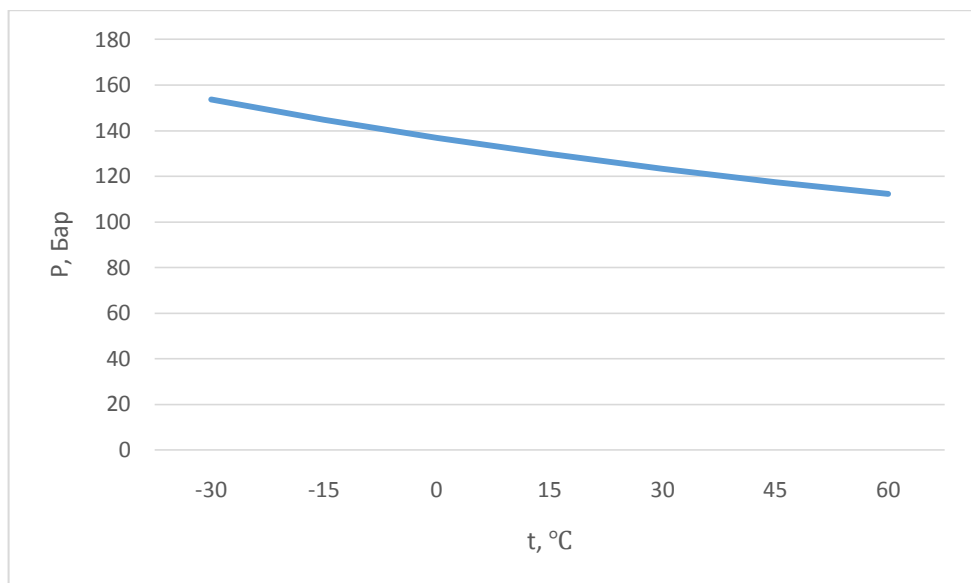


Рис. 2.6 Графік залежності тиску початкової зарядки від робочої температури

Як видно з розрахункв, при пониженні температури зростає тиск газу у акумуляторі. Для компенсації цього на риунку 2.7 зображено концепцію регульованого гідроакумулятора.

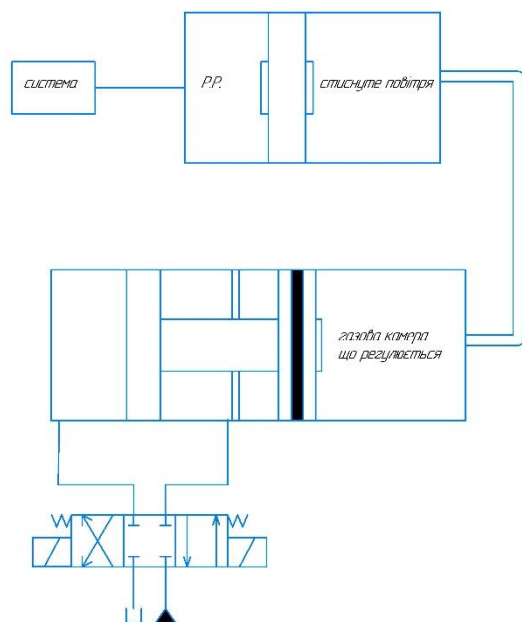


Рис. 2.7 Концепція гідроакумулятора із регульованим об'ємом газової камери

Контролер отримує сигнал від датчика температури і згідно алгоритму керує розподільником для зміни об'єму газової камери, що регулюється. Контроль положення відбувається за допомогою магнітострикційного датчика.

На основі проведених розрахунків проводимо вибір обладнання для гідравлічної схеми (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 Вибір гідравлічної апаратури [16, 17, 18,19]

Позн.	Назва	К-сть	Примітка
АК	Акумулятор Hydac Sk210	1	V=23л P _{max} =350bar
Б	Бак	1	V=50л
КЗ1	Клапан зворотній	2	P _{ном} =2Мпа; Q _{max} = 60л/хв. ΔP = 0,05МПа;
КТ(1,2,5)	Клапан тиску Ponar wk420140DB	3	P _{max} =3,5bar
КТ(3,4)	Клапан тиску з пілотним керуванням Ponar wk420140DBW	2	P _{max} =2.1bar DC12V
М(1, 2)	Гідромотор Danfoss OMR 50	2	P _{ном} =25Мпа; q=51,6 см3
Н(1, 2)	Насос Bosch Rexroth AG-AZP-22- 4.0/4.0RH01BK	2	Q _{max} = 25л/хв. P _{max} =280bar
Р(1, 2, 5)	Гідророзподільник клапанного типу Bosch Rexroth M3-SED 6-CK	3	Q _{max} = 25л/хв. P _{max} =300bar
Р(3, 4, 6)	Гідророзподільник клапанного типу Bosch Rexroth M2-SED 6-NK	3	Q _{max} = 25л/хв. P _{max} =300bar
ТО	Теплообмінний АВUKG-K-4-7-4X-0	1	P=4кВт
Φ(1, 2)	Parker IN-AGB IN310QLBNEXXX1	2	Δ=25мкм Q _{max} =150л/хв
Φ3	Parker ETF210QBP2FG164	1	Δ=15мкм Q _{max} =120л/хв
ΦС	Bosch Rexroth FEF 0 – P10/F – 0 – 0		Δ=15мкм

Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОМПЕНСАЦІЙНОГО АКУМУЛЯТОРА

3.1 Будова експериментального стенду

Моя дипломна робота посиляється на експеримент, який було проведено на випробувальному стенді, що знаходиться у навчальній аудиторії [20]. Загальний вигляд випробувальної установки зображений на рисунку 3.1

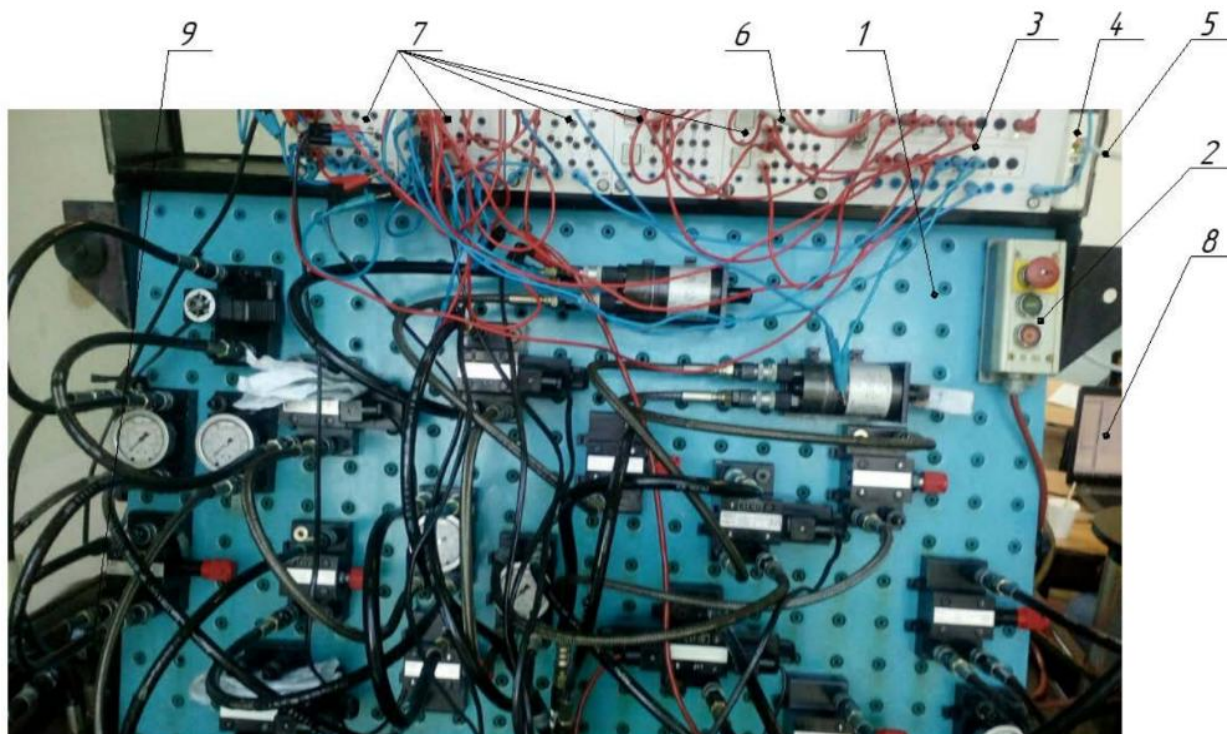


Рис 3.1 Загальний вигляд випробувального стенду:

1. навчальний стенд, для монтування компонентів;
2. блок керування запуском електродвигуна насосу;
3. модуль розширення входів/виходів контролера;
4. контролер FESTO;
5. LAN кабель;
6. кабель для з'єднання контролера з модулем розширення;
7. блоки електричних реле;
8. ноутбук для програмування контролера;
9. гідравлічний акумулятор мембранного типу.

Всередині стенду знаходяться два електродвигуни із здвоєними насосами на кожному з них [20].

Випробувальний стенд є навчальним стендом, наданим компанією FESTO, для проведення лабораторних та практичних робіт студентів. Але у даного стенду є ряд обмежень, що ускладнює проведення складних експериментів. Наприклад, даний стенд має не великі розміри дошки для монтування, що не дозволяє розмістити велику кількість гідравлічної апаратури. З міркувань безпеки студентів, даний стенд має обмеження по тиску, максимальний тиск, який створює насос приблизно 70 бар. Стенд має пази для швидкого і безпечного монтування навчальної гідроапаратури. Уся апаратура надана компанією FESTO, крім гідравлічного акумулятора компанії Freudenberg. Місткість цього гідравлічного акумулятора становить – 1,4 літри. Максимальний тиск робочої рідини, який він може витримувати при нормальному режимі роботи становить 250 бар, що значно перевищує можливість даних насосів [20].

Електричні реле та сам контролер пристосовані для складання на них різних електричних схем для керування електрогідравлічними розподільниками.

Контролер умовно можна розділити на дві частини:

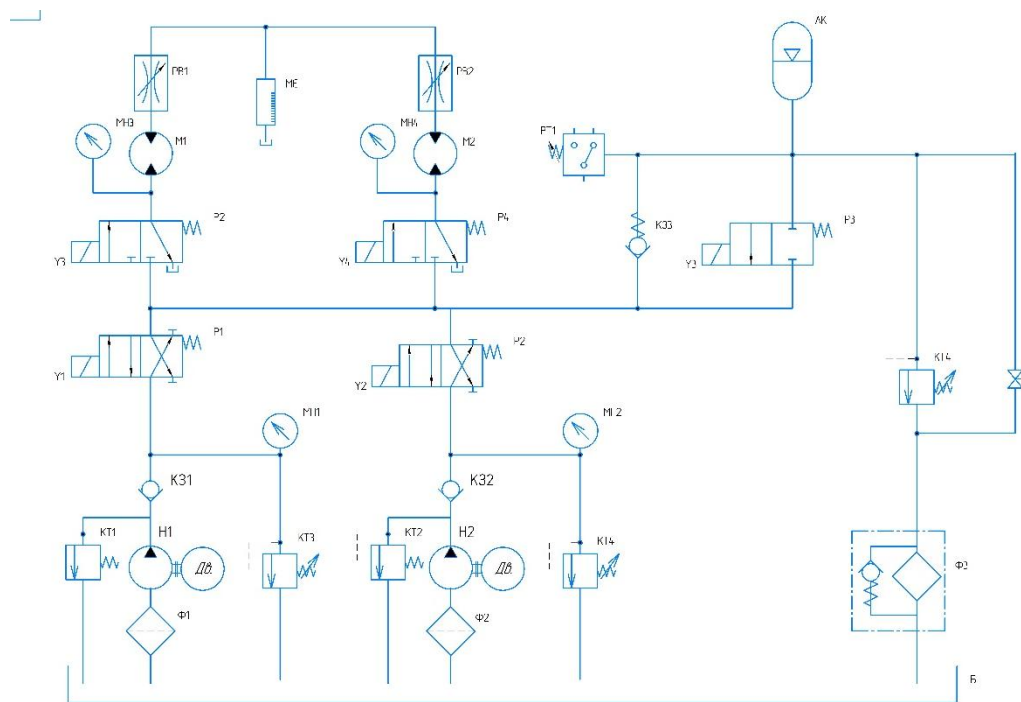
1. контролер;
2. модуль розширення для входів і виходів.

Контролер підключається за допомогою LAN кабелю до ноутбуку, де програмується за допомогою програми Codesys версії 2.3 або вище. Програмування контролера здійснюється за допомогою мови ST. Контролер подає сигнали на модуль розширення, до якого підключають електричні кабелі релейних схем [20].

Ноутбук повинен мати працюючий LAN порт для підключення контролера, а також задовольняти мінімальним вимогам Codesys.

Схема для проведення експериментальних досліджень (рис. 3.2) складається з двох гідронасосів (Н1, Н2) з електродвигунами (Д1, Д2), з вмонтованими нерегульованими клапанами тиску (КТ1, КТ2) та зворотними клапанами (К31, К32). Перед насосами знаходяться всмоктуючі фільтри (Ф1, Ф2) для запобігання потрапляння забруднення в гідросистему. Після насосів

Симуляція навантаження на моторах (М1, М2) здійснюється шляхом зменшення витрати і відбувається за допомогою регуляторів потоку (РП1, РП2). Гідророзподільники Р3 і Р4 керують вмиканням моторів.



Розподільник (РЗ) керує вмиканням акумулятора (АК), який заряджається під час роботи системи, якщо увімкнений один з гідророзподільників Р1 чи Р2. Контроль тиску здійснюється за допомогою реле тиску РТ1. Додатково в лінії гідравлічного акумулятора встановлений кран для швидкого розрядження акумулятора. Вимірювання витрати робочої рідини виконується за допомогою мірної ємності (МЄ), яка розміщується після 2 гідродвигунів [20].

3.2 Задачі експериментальних досліджень

На випробувальному стенді було проведено експеримент з трьома рівнями потужності. Було проведено кілька дослідів з заданням різних циклічних умов системи для покращення якості отриманих результатів, та роботи системи в різних умовах. Випробування проводилися спочатку без використання гідравлічного акумулятора, а потім з ним. Кожне випробування проводилося по три рази для більш точних результатів, а якщо виникали великі розбіжності в отриманих результатах, то випробування повторювались [20].

Випробування проходили у чітко визначеному порядку. Спочатку було написано програму в Codesys для керування циклом. Після того як програму завантажили, відбувалась тестова прогонка циклу для перевірки правильного спрацювання системи та налаштування необхідних параметрів тиску та витрати. Далі відбувався запуск циклу і збір даних за допомогою манометрів та за допомогою мірної ємності і секундоміра. Усі отримані під час експерименту дані були занесені в таблицю EXCEL для зручного аналізу і подальшої обробки.

Після того як цикл завершився і отримано усі необхідні данні, стенд зупиняють і завантажують іншу програму, яка на цей раз задіює в роботу системи гідравлічний акумулятор. Вмикають цикл роботи програми і повторюють процес отримання даних та занесення їх у таблицю відповідно. Після проведення першого циклу з акумулятором і без, систему вимикають, викручують ручки клапанів тиску, щоб повністю скинути тиск [20].

Далі переходять до наступного циклу. Знову завантажують відповідну програму у контролер, встановлюємо необхідні параметри системи і так само проводимо збір даних спочатку без акумулятора, а потім із ним [20].

Подібних циклів системи в експерименті було три, порядок і структура яких описана нижче.

Перший цикл.

Спрощений цикл без гідроакумулятора має вигляд:

$H1, M1 - t=30c - H2, M2, \overline{H1}, \overline{M1} - t=25c - H1, M1, H2, M2 - t=20c - H1, M1, \overline{H2}, \overline{M2} - t=5c - \overline{H1}, \overline{M1}, \overline{H2}, \overline{M2} - t=5c - H1, M1, H2, M2 - t=10c$

Додатково перед випробуванням необхідно зарядити гідравлічний акумулятор, прогнавши 1 раз цикл без проведення вимірів, або відключивши його від системи [20].

При роботі із гідравлічним акумулятором спрощений цикл матиме наступний вигляд:

$H1, M1, \overline{A} - t=30c - H2, M2, \overline{H1}, \overline{M1}, \overline{A} - t=25c - H1, M1, H2, M2, \overline{A} - t=20c - H1, M1, \overline{H2}, M2, A - t=5c - \overline{H1}, M1, \overline{H2}, M2, A - t=5c - H1, M1, H2, M2, \overline{A} - t=10c$

Цей цикл є найбільш складним в даній роботі і дозволяє провести основні випробування системи [20].

Самі ж коди програм, написані на мові програмування ST в програмі Codesys і мають наступний вигляд рис 3.3 і рис 3.4

```

0001 CASE STEP OF
0002 0: Y1:=FALSE; Y4:=FALSE; Y2:=FALSE; Y5:=FALSE; XT1:=FALSE;
0003 XT2:=FALSE; XT3:=FALSE; XT4:=FALSE; XT5:=FALSE; XT6:=FALSE;
0004 IF S1 THEN STEP:=1; END_IF
0005 1: Y1:=TRUE; Y4:=TRUE; Y2:=FALSE; Y5:=FALSE;
0006 T1:=TP1.Q;
0007 TP1(IN:=(NOT XT1), PT:=T#30S);
0008 IF T1 THEN XT1:=TRUE; END_IF
0009 IF NOT T1 AND XT1 THEN STEP:=2; END_IF
0010 2: Y1:=FALSE; Y4:=FALSE; Y2:=TRUE; Y5:=TRUE;
0011 T2:=TP2.Q;
0012 TP2(IN:=(NOT XT2), PT:=T#20S);
0013 IF T2 THEN XT2:=TRUE; END_IF
0014 IF NOT T2 AND XT2 THEN STEP:=3; END_IF
0015 3: Y1:=TRUE; Y2:=TRUE; Y4:=TRUE; Y5:=TRUE;
0016 T3:=TP3.Q;
0017 TP3(IN:=(NOT XT3), PT:=T#15S);
0018 IF T3 THEN XT3:=TRUE; END_IF
0019 IF NOT T3 AND XT3 THEN STEP:=4; END_IF
0020 75
0021 4: Y2:=FALSE; Y5:=FALSE;
0022 T4:=TP4.Q;
0023 TP4(IN:=(NOT XT4), PT:=T#5S);
0024 IF T4 THEN XT4:=TRUE; END_IF
0025 IF NOT T4 AND XT4 THEN STEP:=5; END_IF
0026 5: Y1:=FALSE; Y4:=FALSE;
0027 T5:=TP5.Q;
0028 TP5(IN:=(NOT XT5), PT:=T#5S);
0029 IF T5 THEN XT5:=TRUE; END_IF
0030 IF NOT T5 AND XT5 THEN STEP:=6; END_IF
0031 6: Y1:=TRUE; Y2:=TRUE; Y4:=TRUE; Y5:=TRUE;
0032 T6:=TP6.Q;
0033 TP6(IN:=(NOT XT6), PT:=T#10S);
0034 IF T6 THEN XT6:=TRUE; END_IF
0035 IF NOT T6 AND XT6 THEN STEP:=0; END_IF
0036 END_CASE
0037 |

```

Рис. 3.3 Приклад програми циклу для роботи без гідравлічного акумулятора

```

0001 CASE STEP OF
0002 0:Y1:=FALSE;Y4:=FALSE;Y2:=FALSE;Y5:=FALSE;XT1:=FALSE;XT2:=FALSE;
0003 XT3:=FALSE;XT4:=FALSE;XT5:=FALSE;XT6:=FALSE;
0004 IF S1 THEN STEP:=1; END_IF
0005 1:Y1:=TRUE;Y4:=TRUE;Y2:=FALSE;Y5:=FALSE;
0006 T1:=TP1.Q;
0007 TP1(IN:=(NOT XT1),PT:=T#30S);
0008 IF T1 THEN XT1:=TRUE; END_IF
0009 IF NOT T1 AND XT1 THEN STEP:=2; END_IF
0010 2:Y1:=FALSE;Y4:=FALSE;Y2:=TRUE;Y5:=TRUE;
0011 T2:=TP2.Q;
0012 TP2(IN:=(NOT XT2),PT:=T#20S);
0013 IF T2 THEN XT2:=TRUE; END_IF
0014 IF NOT T2 AND XT2 THEN STEP:=3; END_IF
0015 3:Y1:=TRUE;Y2:=TRUE;Y4:=TRUE;Y5:=TRUE;
0016 T3:=TP3.Q;
0017 TP3(IN:=(NOT XT3),PT:=T#15S);
0018 IF T3 THEN XT3:=TRUE; END_IF
0019 IF NOT T3 AND XT3 THEN STEP:=4; END_IF
0020 4:Y2:=FALSE; Y3:=TRUE;
0021 T4:=TP4.Q;
0022 TP4(IN:=(NOT XT4),PT:=T#5S);
0023 IF T4 THEN XT4:=TRUE; END_IF
0024 IF NOT T4 AND XT4 THEN STEP:=5; END_IF
0025 5:Y1:=FALSE;
0026 T5:=TP5.Q;
0027 TP5(IN:=(NOT XT5),PT:=T#5S);
0028 IF T5 THEN XT5:=TRUE; END_IF
0029 IF NOT T5 AND XT5 THEN STEP:=6; END_IF
0030 6:Y1:=TRUE;Y2:=TRUE;Y4:=TRUE;Y5:=TRUE;Y3:=FALSE;
0031 T6:=TP6.Q;
0032 TP6(IN:=(NOT XT6),PT:=T#10S);
0033 IF T6 THEN XT6:=TRUE; END_IF
0034 IF NOT T6 AND XT6 THEN STEP:=0; END_IF
0035 END_CASE
0036
0037

```

Рис. 3.4 Приклад програми циклу для роботи з гідравлічним
акумулятором

Другий цикл.

При роботі без гідравлічного акумулятора спрощений цикл матиме вигляд:

$H1, M1, H2, M2 - t=30c - \overline{H1}, \overline{M1}, \overline{H2}, \overline{M2} - t=10c - H1, M1, H2, M2 - t=20c - \overline{H1}, \overline{M1}, \overline{H2}, \overline{M2} - t=10c$ 77 .

При роботі з гідравлічним акумулятором спрощений цикл матиме вигляд:
 $H1, M1, H2, M2 - t=30c - \overline{H1}, M1, \overline{H2}, M2, A - t=10c - H1, M1, H2, M2 - t=20c - \overline{H1},$
 $M1, \overline{H2}, M2, A - t=10c$

Даний цикл перевіряє ефективність акумулятора. Короткі проміжки циклу в 10 с дозволяють більш чітко побачити вплив акумулятора на систему і порівняти на результати замірів без і з акумулятором [20].

Третій цикл.

Цей цикл найпростіший, але тут відбувається три досліди.

При роботі без гідравлічного акумулятора, спрощений цикл виглядає як:
 $H1, M1 - t=30c - H1, M1, H2, M2 - t=20c - \overline{H1}, \overline{M1}, H2, M2 - t=10c.$

При роботі із гідравлічним акумулятором, спрощений цикл виглядає як:
 $H1, M1 - t=30c - H1, M1, H2, M2 - t=20c - \overline{H1}, M1, H2, M2, A - t=10c$

Цей цикл покращує точність експерименту та дозволяє зробити заключні висновки.

3.3 Результати експериментальних досліджень

Під час експерименту ми отримали наступні параметри:

- тиск на гідронасосах;
- вхідна витрата в системі (вираховувалась окремо);
- вихідний тиск (на гідромоторах);
- вихідна витрата (на гідромоторах).

Для кожного циклу була побудована циклограма роботи, але акумулятор застосовувався почергово. Спочатку дослід без акумулятора, потім з ним. Отримані дані були занесені і опрацьовані в таблицях Excel.

Послідовність спрацювання гідравлічного обладнання при першому циклі має вигляд (рис. 3.5). Розрахункові параметри, що отримані при роботі першого циклу приведені у таблиці 3.1.

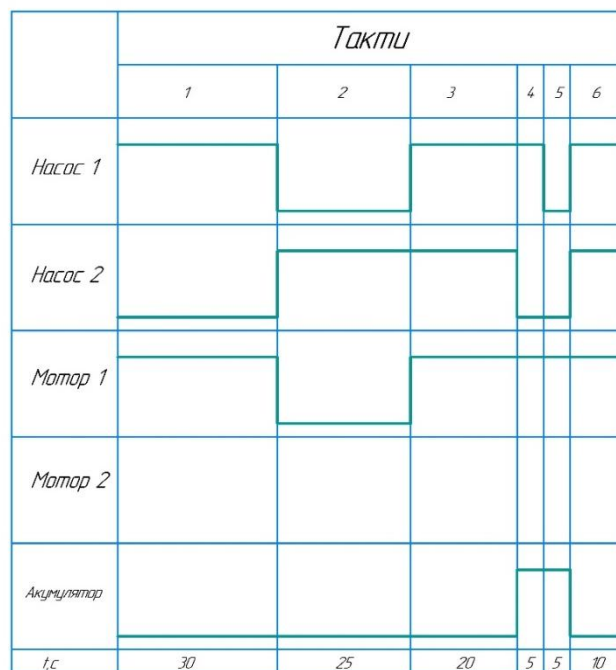


Рис. 3.5 Циклограма роботи першого режиму

Таблиця 3.1 Розрахункові дані першого випробування

Vзаг вих, м3/с	Vзаг вих, л/хв	Vзаг вх, м3/с	Vзаг вх, л/хв	Рвих, Вт	Рвх, Вт	Т, циклу	Т, циклу сумарний
3,62E-05	2,17	7,14E-05	4,28	110,11	303,68	30	30
2,86E-05	1,71	7,29E-05	4,37	92,62	310,10	30	30
5,00E-05	3,00	7,36E-05	4,42	162,08	320,52	30	30
2,27E-05	1,36	7,28E-05	4,37	57,56	258,04	20	50
2,56E-05	1,54	7,49E-05	4,49	62,34	257,99	20	50
2,56E-05	1,54	7,59E-05	4,56	64,94	269,21	20	50
3,62E-05	2,17	1,44E-04	8,65	201,87	1153,13	15	65
4,47E-05	2,68	1,48E-04	8,86	244,75	1137,19	15	65
5,00E-05	3,00	1,49E-04	8,97	278,58	1135,65	15	65
3,00E-05	1,80	7,14E-05	4,28	91,17	303,68	5	70
3,00E-05	1,80	7,29E-05	4,37	97,25	310,10	5	70
2,50E-05	1,50	7,36E-05	4,42	81,04	305,61	5	70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	75
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	75
5,00E-05	3,00	1,44E-04	8,65	293,77	1153,13	10	85
4,17E-05	2,50	1,48E-04	8,86	232,15	1122,23	10	85
4,42E-05	2,65	1,49E-04	8,97	241,51	1135,65	10	85

З цих даних отримано графік для порівняння значень вхідної і вихідної потужностей (рис. 3.6).

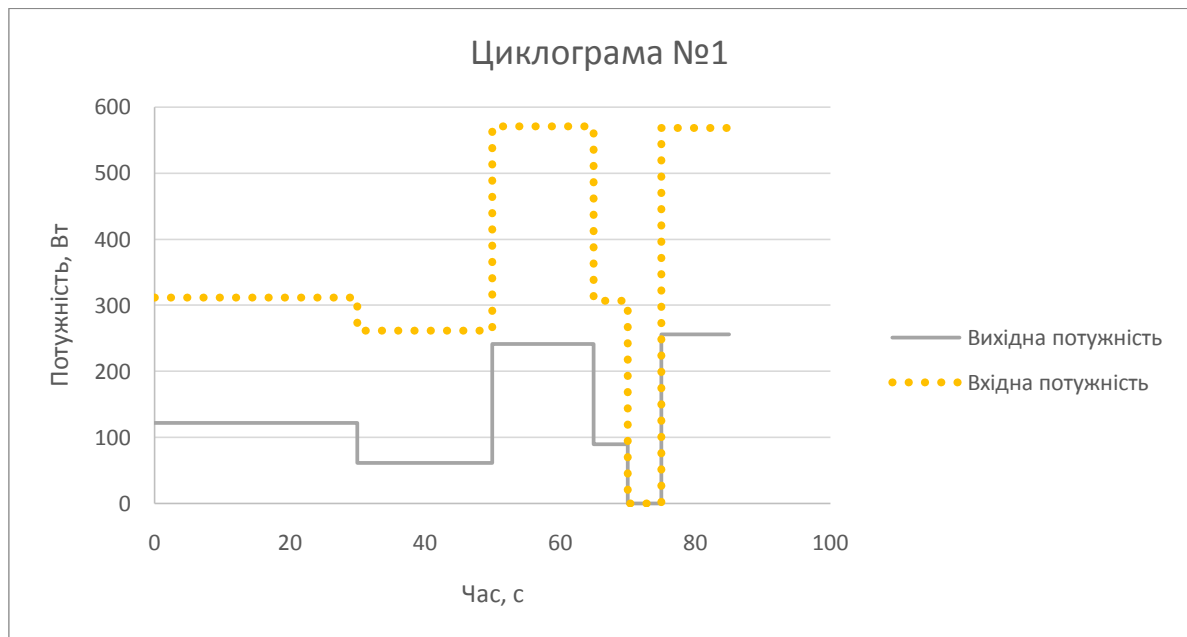


Рис. 3.6 Графік зміни вхідної та вихідної потужностей для першого циклу роботи

В даному досліді різниця між вхідною і вихідною потужностями достатньо суттєва. Це може бути спричинено похибкою через неточність вимірювань, наприклад, витрата рідини вимірюється в дуже короткий проміжок часу, а саме п'ять секунд [20].

Другий цикл.

Циклограма роботи зображена на рисунку 3.7. Аналогічно до першого циклу, спочатку були проведені досліді без акумулятора, а потім з ним (табл. 3.2.).

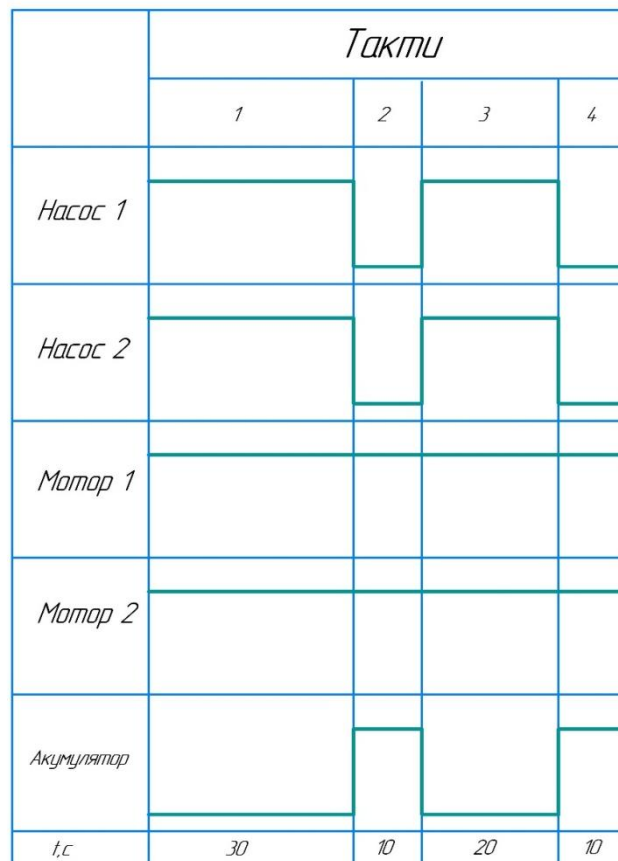


Рис. 3.7 Циклограма роботи обладнання для другого циклу

Таблиця 3.2 Розрахункові значення для другого циклу

Взаг вих, м3/с	Взаг вих, л/хв	Взаг вх, м3/с	Взаг вх, л/хв	Рвих, Вт	Рвх, Вт	Т, циклу	Т, циклу сумарний
6,49E-05	3,90	1,44E-04	8,65	355,21	1167,72	30	30
6,58E-05	3,95	1,48E-04	8,86	373,21	1182,08	30	30
7,25E-05	4,35	1,49E-04	8,97	403,73	1203,79	30	30
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	40
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	40
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	40
3,62E-05	2,17	1,44E-04	8,65	201,87	1153,13	20	60
4,47E-05	2,68	1,48E-04	8,86	244,75	1137,19	20	60
5,00E-05	3,00	1,49E-04	8,97	278,58	1135,65	20	60
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	70

З отриманих значень будуюмо графік зміни потужностей (рис. 3.8).

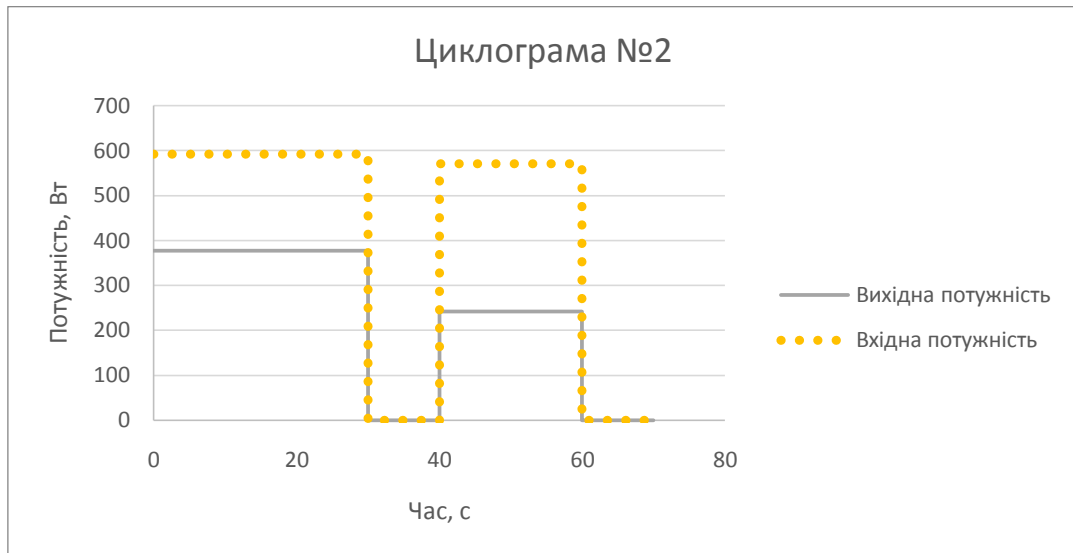


Рис. 3.8 Графік зміни вхідної та вихідної потужностей для другого циклу роботи гідроприводу

На графіку видно, що система достань чітко відслідковує зміну вхідної потужності, при цьому при більшій довжині такту зменшується різниця між вхідною та вихідною потужністю, що може підтверджувати думку стосовно неточності вимірювань.

Третій цикл.

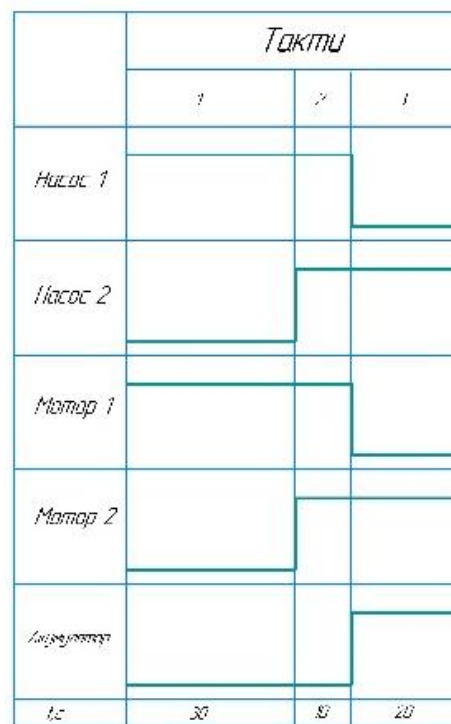


Рис. 3.9 Циклограма третього циклу

Циклограма зміни рівнів потужності має наступний вигляд (рис. 3.9). Розрахункові дані, отримані при проведенні третього досліду наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Розрахункові дані третього циклу

Vзаг вих, м3/с	Vзаг вих, л/хв	Vзаг вх, м3/с	Vзаг вх, л/хв	Рвих, Вт	Рвх, Вт	Т, циклу	Т, циклу сумарний
3,73E-05	2,24	7,14E-05	4,28	102,06	303,68	30	30
3,65E-05	2,19	7,29E-05	4,37	103,52	302,72	30	30
3,95E-05	2,37	7,36E-05	4,42	111,93	305,61	30	30
6,54E-05	3,92	1,44E-04	8,65	370,77	1196,92	20	50
6,57E-05	3,94	1,48E-04	8,86	366,06	1197,05	20	50
6,57E-05	3,94	1,49E-04	8,97	369,39	1211,36	20	50
2,82E-05	1,69	7,28E-05	4,37	77,26	294,91	10	60
2,29E-05	1,37	7,49E-05	4,49	62,55	295,93	10	60
2,67E-05	1,60	7,59E-05	4,56	74,29	307,67	10	60

З отриманих значень будуюмо порівняльний графік (рис. 3.10).

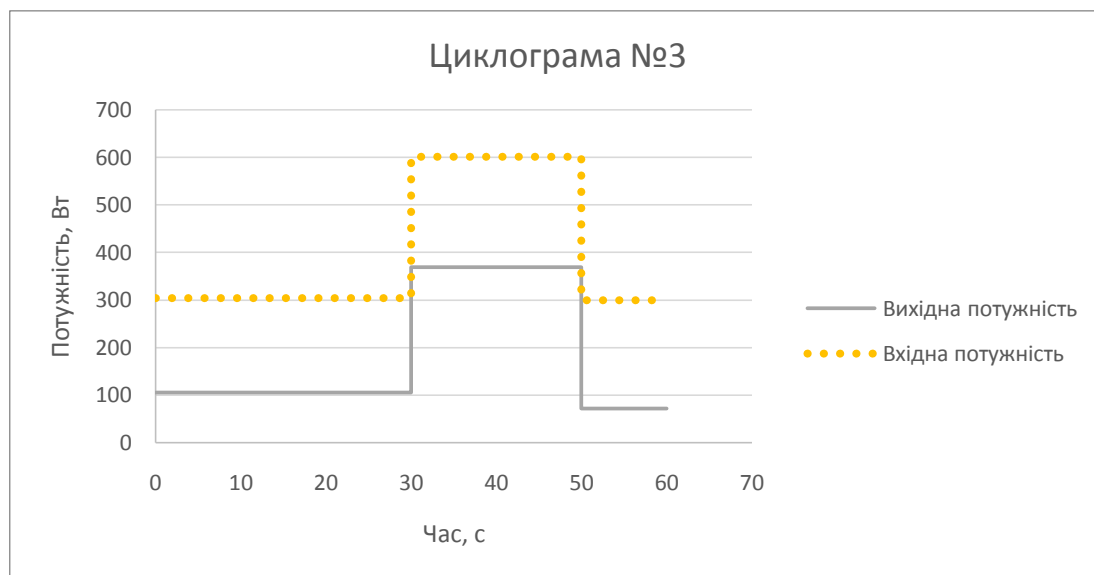


Рис. 3.10 Графік порівнянь потужностей для третього режиму

Нижче наведені результати експерименту з використанням акумулятора. Циклограма роботи для першого режиму зображена на рис. 3.5,

але тепер в системі задіяно акумулятор. Отримані розрахункові значення наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Розрахункові дані для першого режиму (з акумулятором)

V _{заг вих} , м3/с	V _{заг вих} , л/хв	V _{заг вх} , м3/с	V _{заг вх} , л/хв	Р _{вих} , Вт	Р _{вх} , Вт	T, циклу	T, циклу сумарний
2,56E-05	1,54	7,14E-05	4,28	80,52	296,45	30	30
2,21E-05	1,33	7,29E-05	4,37	69,48	302,72	30	30
1,79E-05	1,07	7,36E-05	4,42	54,27	313,07	30	30
2,30E-05	1,38	7,28E-05	4,37	53,56	258,04	20	50
1,82E-05	1,09	7,49E-05	4,49	44,36	265,58	20	50
2,08E-05	1,25	7,59E-05	4,56	50,65	269,21	20	50
3,45E-05	2,07	1,44E-04	8,65	181,64	1094,74	15	65
3,73E-05	2,24	1,48E-04	8,86	200,33	1122,23	15	65
3,73E-05	2,24	1,49E-04	8,97	204,11	1135,65	15	65
4,35E-05	2,61	7,14E-05	4,28	215,81	289,22	5	70
4,00E-05	2,40	7,29E-05	4,37	218,81	295,34	5	70
4,65E-05	2,79	7,36E-05	4,42	230,87	298,16	5	70
4,00E-05	2,40	0,00	0,00	137,77	0,00	5	75
3,72E-05	2,23	0,00	0,00	128,20	0,00	5	75
4,26E-05	2,55	0,00	0,00	146,56	0,00	5	75
4,37E-05	2,62	1,44E-04	8,65	234,45	1094,74	10	85
4,37E-05	2,62	1,48E-04	8,86	234,56	1122,23	10	85
4,37E-05	2,62	1,49E-04	8,97	234,56	1165,93	10	85

Відповідно до отриманих значень будуюмо графік зміни вхідної та вихідної потужності (рис. 3.11).

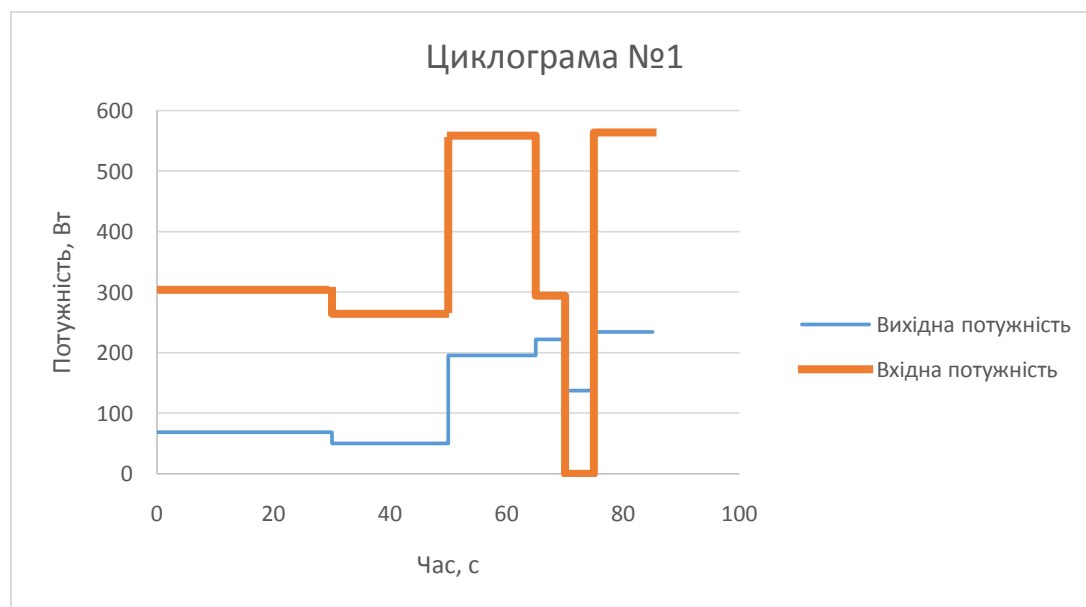


Рис. 3.11. Графік порівнянь потужностей для першого режиму роботи з використанням акумулятора

На даному графіку видно, що потужність знизилася у тактах, де відбувається зарядка акумулятора, але при цьому у четвертому і п'ятому такті акумулятор розряджається і забезпечує стабільну потужність системи [20].

Другий цикл.

Циклограма роботи зображена на рис. 3.7. Розрахункові дані занесено до таблиці 3.5.

Таблиця 3.6. Розрахункові дані для другого режиму роботи
(з використанням акумулятора)

Vзаг вих, м3/с	Vзаг вих, л/хв	Vзаг вх, м3/с	Vзаг вх, л/хв	Pвих, Вт	Pвх, Вт	T, циклу	T, циклу сумарний
6,41E-05	3,85	1,44E-04	8,65	337,67	1094,74	30	30
6,49E-05	3,90	1,48E-04	8,86	325,61	1122,23	30	30
6,67E-05	4,00	1,49E-04	8,97	334,29	1135,65	30	30
5,17E-05	3,10	0,00	0,00	89,07	0,00	10	40
5,88E-05	3,53	0,00	0,00	101,30	0,00	10	40
6,12E-05	3,67	0,00	0,00	105,43	0,00	10	40
5,75E-05	3,45	1,44E-04	8,65	296,91	1087,44	20	60
7,46E-05	4,48	1,48E-04	8,86	377,99	1137,19	20	60
7,46E-05	4,48	1,49E-04	8,97	377,99	1150,79	20	60
6,52E-05	3,91	0,00	0,00	132,13	0,00	10	70
6,00E-05	3,60	0,00	0,00	109,40	0,00	10	70
6,98E-05	4,19	0,00	0,00	120,15	0,00	10	70

Відповідно до отриманих значень будуюмо графік зміни вхідної та вихідної потужності (рис. 3.12).

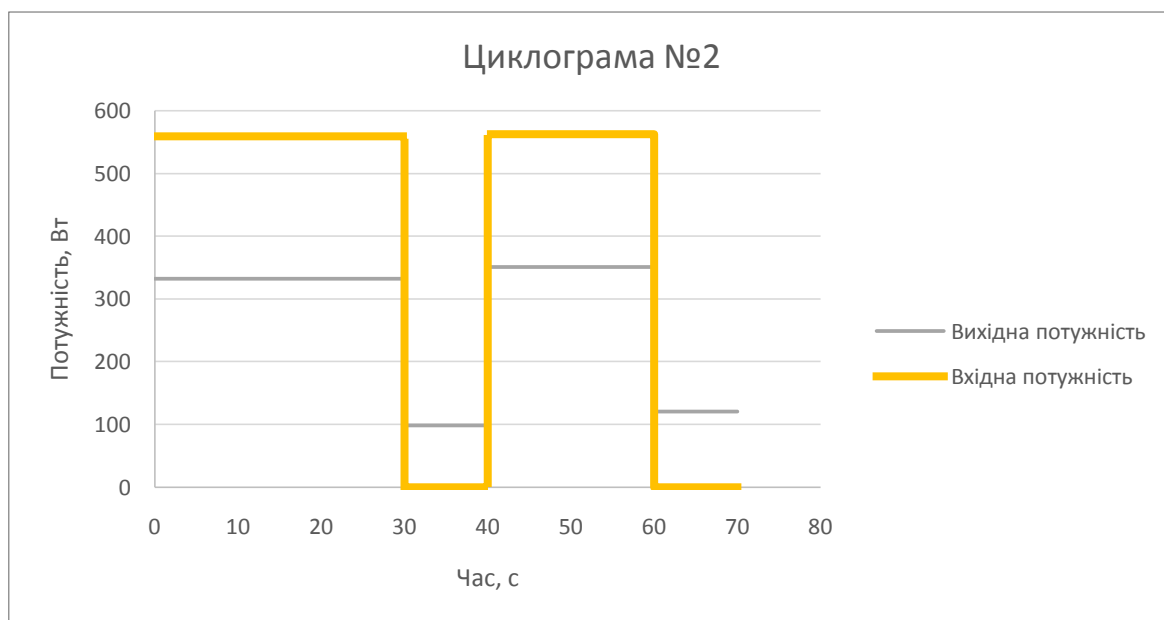


Рис. 3.12. Графік порівнянь потужностей для другого режиму роботи
(з гідроакумулятором)

Третій цикл.

Циклограма для третього режиму роботи зображена на рисунку 3.9. Розрахункові дані занесено до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 Розрахункові дані третього циклу з гідроаккумулятором

Vзаг вих, м3/с	Vзаг вих, л/хв	Vзаг вх, м3/с	Vзаг вх, л/хв	Pвих, Вт	Pвх, Вт	T, циклу	T, циклу сумарний
3,94E-05	2,36	7,14E-05	4,28	109,68	296,45	30	30
3,70E-05	2,22	7,29E-05	4,37	105,05	302,72	30	30
3,57E-05	2,14	7,36E-05	4,42	101,30	305,61	30	30
6,85E-05	4,11	1,44E-04	8,65	381,61	1160,43	20	50
6,67E-05	4,00	1,48E-04	8,86	368,06	1189,56	20	50
7,14E-05	4,29	1,49E-04	8,97	397,96	1196,22	20	50
4,96E-05	2,98	7,28E-05	4,37	191,04	258,04	10	60
6,04E-05	3,63	7,49E-05	4,49	232,59	265,58	10	60
6,15E-05	3,69	7,59E-05	4,56	236,89	261,52	10	60

Відповідно до отриманих значень будуюмо графік зміни вхідної та вихідної потужності (рис. 3.13).

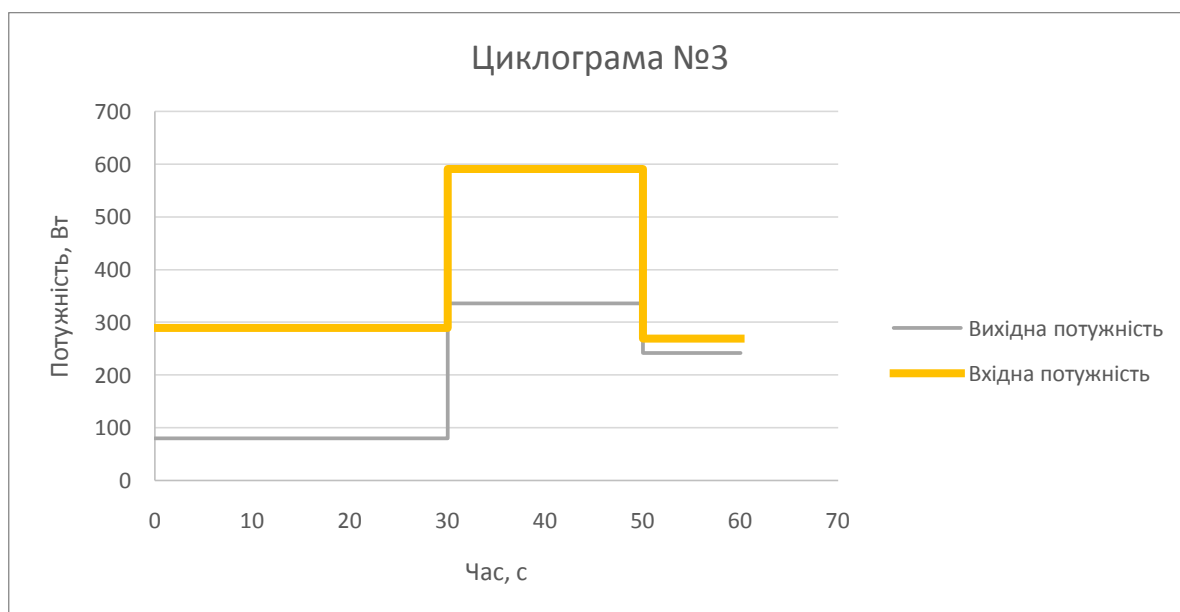


Рис. 3.13 Графік порівнянь потужностей для третього режиму роботи (з акумулятором)

3.4 Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень

Після проведених дослідів будуюмо спільний графік порівняння потужностей (рис. 3.14).

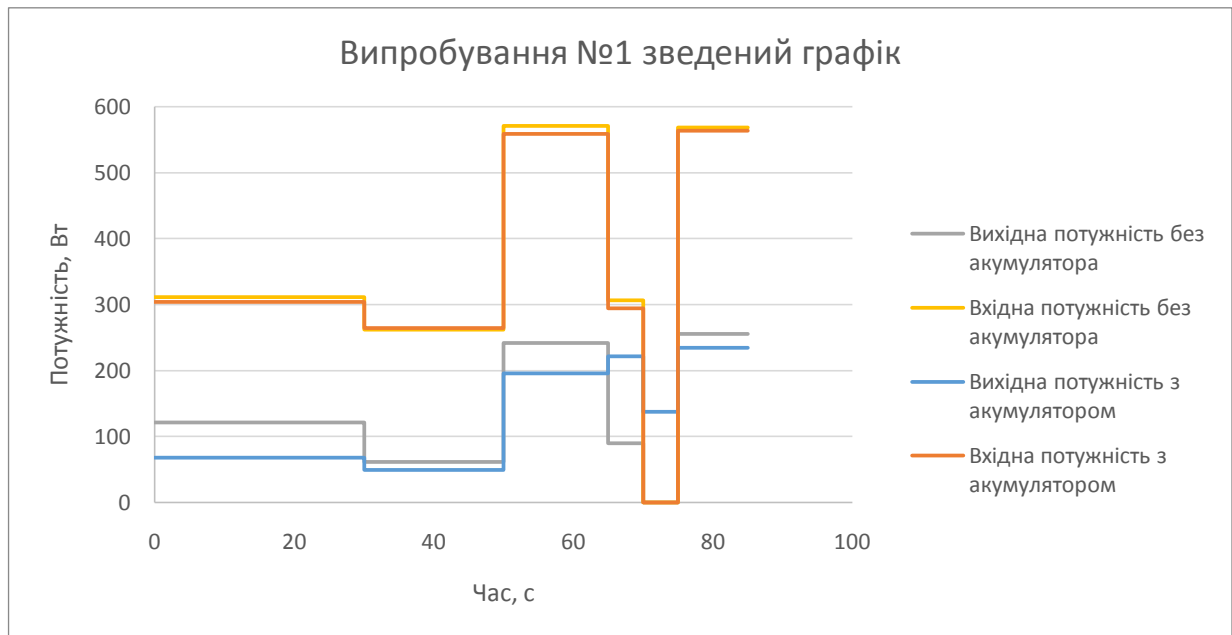


Рис. 3.14 Порівняльний графік результатів досліджень для першого режиму роботи системи

В даному графіку видно, що вихідна потужність системи при роботі акумулятора є нижчою, ніж без нього. Це пояснюється тим, що акумулятор бере енергію для зарядки. Але у місцях, де акумулятор живить систему потужність зростає. Загальна вихідна потужність за цикл без гідроакумулятора 707,57 Вт, з гідроакумулятором – 906,84 Вт.

Загальна потужність системи з використанням акумулятора трохи вище, але короткі проміжки часу для вимірювань могли виникнути похибки під час вимірювання.

На наступному етапі було проаналізовано роботи системи з/без гідроакумулятора для другого режиму (рис. 3.15).

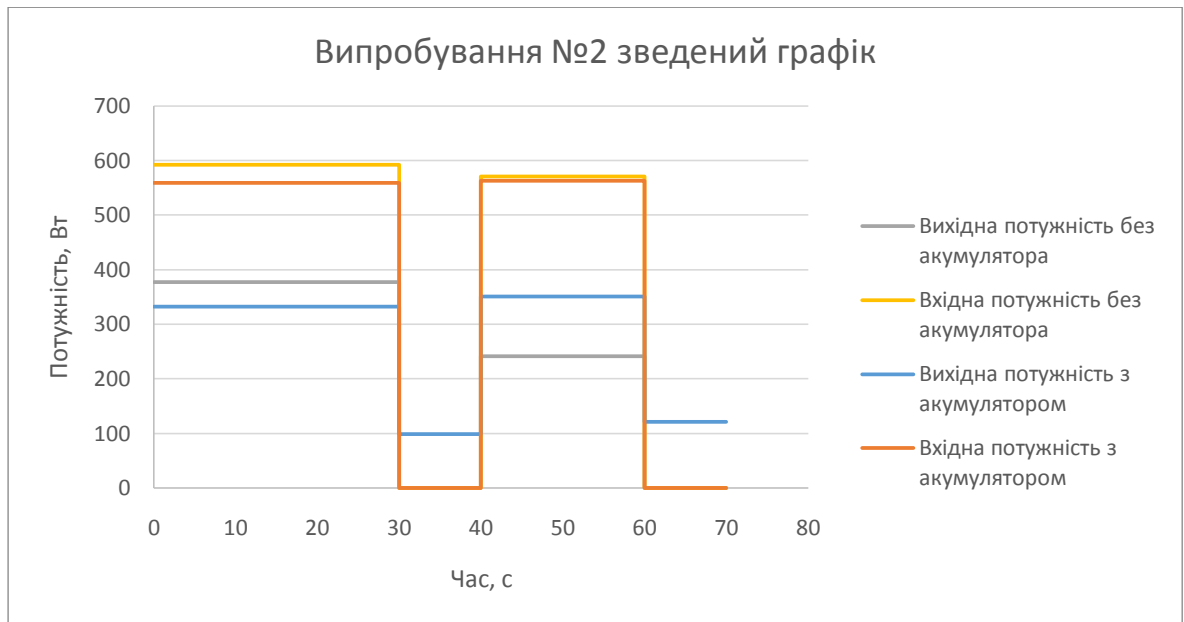


Рис. 3.15 Порівняльний графік результатів досліджень для другого режиму роботи системи

Даний графік схожий на перший, але загальна потужність була вищою. Без гідроакумулятора загальна потужність за цикл складає 619,11 Вт, з гідроакумулятором – 902,65 Вт.

Далі було проаналізовано роботи системи з/без гідроакумулятора для третього режиму (рис. 3.16).

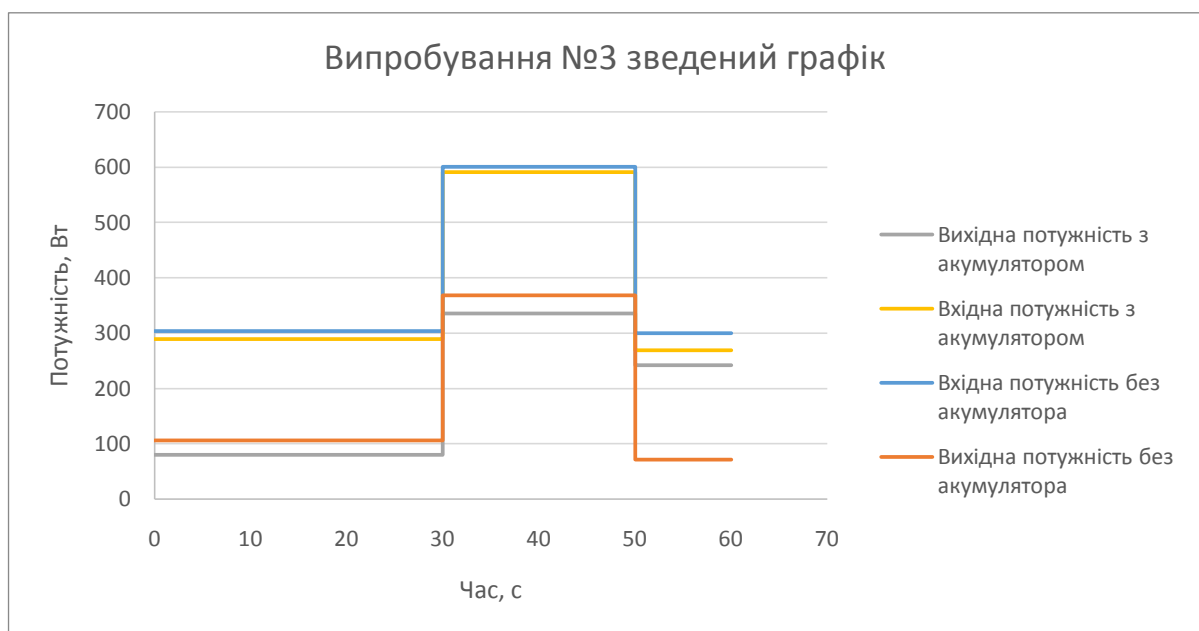


Рис. 3.16 Порівняльний графік результатів третього циклу

На цьому графіку загальна потужність за цикл без гідроаккумулятора склала 545,94 Вт, з аккумулятором - 656,92 Вт.

Висновок: з даних графіків зрозуміло, що для якісної роботи системи із гідравлічним аккумулятором, об'єм аккумулятора повинен бути достатнім для компенсації потужності. Тому мембранний аккумулятор не підходить, так як їх об'єми зазвичай становлять 3-5 л. Тому доцільно застосовувати балонні чи поршневі аккумулятори.

3.5 Висновки до розділу

В цьому розділі було проведено експериментальні дослідження роботи системи гідроприводу змінної потужності для декількох режимів. Під час випробувань було виявлено, що використання мембранного аккумулятора спричинило незначне падіння вихідної потужності залежно від циклу, але в проміжках, де працював аккумулятор це падіння вдалось компенсувати. Це пояснюється тим, що через регулятори потоку потужність насосів не використовувалась на повну, частина рідини, яка могла бути використана системою, переливалась через запобіжні клапани. А в реальному проекті надлишкова енергія повинна йти у гідроаккумулятор і загальна потужність системи збільшиться, що можна побачити у другому циклі.

Об'єм аккумулятора має розраховуватись з урахуванням не тільки номінальних параметрів роботи гідроприводу (тиску та витрати), а також зміни вхідної потужності, яка може бути отримана на основі статистичних даних зміни швидкості вітру для конкретної місцевості розташування ВЕУ. Лише в такому випадку може бути підвищена ефективність роботи вітроенергетичної установки.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

В даній роботі будуть розглянуті загальні питання охорони праці про умови роботи під час проектування дипломної роботи.

4.1 Загальна характеристика мікроклімату робочої зони

По причині карантину в Україні, на момент написання дипломної роботи, робочою зоною являлась кімната гуртожитку, яка була моїм постійним робочим місцем. Величини показників мікроклімату у робочій зоні порівнюються з оптимальними показниками умов мікроклімату приміщень. Виходячи з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень», визначаємо дану роботу, як легку фізичну роботу (категорія I) при якій витрата енергії дорівнює 105 - 140 Вт (90 – 120 ккал/год.) - категорія Ia, тобто робота, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження [21].

Основні параметри мікроклімату

Період року	Температура, °C			Відносна вологість, %	
	Оптимальна	Фактична		Оптимальна	Дійсна
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	21-24	23	21	40-60	55
Теплий	23-28	28	23	40-60	45

Середня температура приміщення в теплий період року дорівнює 25 °C, відносна вологість повітря 43%.

У холодний період року, середня температура складає 22 °С. Значення відносної вологості дорівнює 55%.

Усі параметри мікроклімату приміщення в теплий та холодний період року знаходяться в діапазоні оптимальних значень, тому можна зробити висновок, що мікроклімат приміщення є сприятливим для праці.

4.2 Освітлення робочого приміщення

Основним чинником зовнішнього середовища, що впливає на організм людини в процесі праці є освітлення. Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці, при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, розлад гостроти зору, світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Приміщення з постійним перебуванням людей повинно мати, як правило, природне освітлення, проте природньому освітленню властиві і недоліки: воно непостійне в різні періоди доби та року, в різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення; при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору [22].

Штучне освітлення передбачається в усіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень у темний період доби, під час якого також проводилась робота над дипломним проектом. При розрахунку штучного освітлення було забезпечено сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи над дипломним проектом.

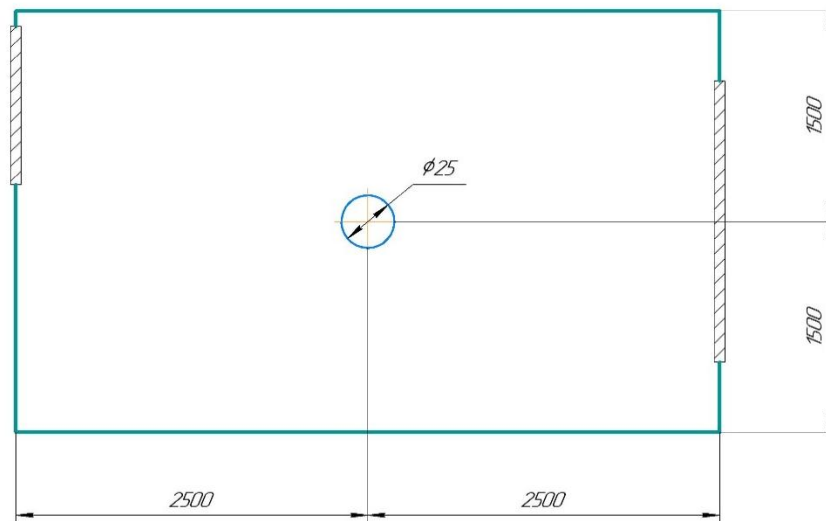


Рисунок 4.1 Схема розташування світильників у робочому приміщенні

На підставі характеристики системи освітлення і розмірів приміщення визначимо фактичну освітленість у приміщенні. Для цього визначаємо індекс приміщення і по формулі [22]:

$$i = \frac{a * b}{h_c * (a + b)},$$

$$i = \frac{5 * 3}{1.2 * (5 + 3)} = 1.56$$

де $a = 5\text{м}$ і $b = 3\text{м}$ – довжина і ширина приміщення,

$h_c = 1,2\text{м}$ – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

Виходячи з індексу приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги ($\rho_{\text{сл}}$, $\rho_{\text{сн}}$, $\rho_{\text{п}}$), визначили коефіцієнт використання світлового потоку η . Стеля приміщення свіжопобілена $\rho_{\text{сл}} = 70\%$, стіни мають світло-зелений колір $\rho_{\text{сн}} = 50\%$, підлога з дубового паркету $\rho_{\text{п}} = 30\%$. Висота робочої поверхні h_p становить $0,8\text{м}$.

Для встановленої системи освітлення визначимо нормоване значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової роботи при роботі над дипломною роботою: $s_o = 3\text{мм}$ – мінімальний розмір об'єкта, що розпізнається, характеристика фону – світла, контраст об'єкта розпізнавання з фоном – великий.

З заданих параметрів можемо встановити, що $E_n = 200\text{лк}$

Виходячи з типу ламп а саме світлодіодна лампа Videx G45e потужністю 7 Вт, світловий потік відповідатиме значенню $F_{\text{л}} = 700\text{лм}$.

Визначаємо фактичне значення освітленості в приміщенні $E_{\text{ф}}$ за формулою [22]:

$$E_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{л}} * N * n * \eta}{S * k_3 * z},$$

де $N = 1$ – кількість світильників, од.,

$n = 1$ – кількість ламп в світильнику, од.,

$\eta = 0,56$ – коефіцієнт використання світлового потоку,

$S = 15 \text{ м}^2$ – площа приміщення,

$k_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу,

$z = 1$ – коефіцієнт нерівномірності.

$$E_{\text{ф}} = \frac{700 * 1 * 1 * 0,56}{15 * 1,5 * 1} = 17,42\text{лк}$$

Порівняємо фактичне значення освітленості, що створює у приміщенні задана система загального штучного освітлення, з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони [22]:

$$\frac{E_{\text{н}} - E_{\text{ф}}}{E_{\text{н}}} * 100\%,$$

$$\frac{200 - 17,42}{200} * 100\% = 91\%$$

На підставі отриманих результатів можна можемо зробити висновок, що освітленість в приміщенні не достатня, саме тому використовується ще місцеве освітлення.

4.3 Електробезпека

Кімната гуртожитку є не виробничим приміщенням. Світильник надійно підвішений до стелі й має світлорозсіювальну арматуру. Корпуси й кришки електровимикачів і електророзеток не мають відколів і тріщин, а також відсутні оголені контакти [23].

Основні причини нещасних випадків, пов'язаних із дією електричного струму, можна об'єднати у такі групи [23]:

- випадкове доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкався до струмопровідних частин;
- поява напруги на металевих частинах електрообладнання унаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання, замикання фази на землю тощо;
- виникнення крокової напруги навколо струмопровідної лінії, яка торкається землі, на її поверхні або підлозі, де стоїть людина, унаслідок замикання проводу на землю чи несправності заземлення.

Отже, щоб звести до мінімуму ризик ураження електричним струмом, перед тим, як вмикати електроприлад, необхідно;

- візуально перевірити електрошнур на наявність механічних ушкоджень;
- при необхідності електроприлади мають бути надійно заземлені згідно з правилами їх встановлення;
- не працювати з електроприладами вологими руками;
- не залишати електроприлади без нагляду на тривалий час;
- після закінчення роботи перевірити, чи всі прилади вимкнені;
- у разі виявлення несправності негайно викликати електрика.

4.4 Пожежна безпека гуртожитку

У дипломній роботі для забезпечення пожежної безпеки в приміщенні, в якому відбувався процес створення дипломної роботи, передбачено проведення ряду заходів.

У гуртожитку для забезпечення протипожежного захисту дотримуються таких документів:

1. Кодекс цивільного захисту України;
2. Нові Правила пожежної безпеки в Україні 2014. НАПБ А.01.001- 2014;

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Правила пожежної безпеки для закладів, установ і організацій системи освіти України.

Пожежна небезпека гуртожитку полягає у:

- відсутності пожежної спеціальної техніки, необхідної для евакуації людей;
- темних та незручних евакуаційних виходах, що значно ускладнює їх використання;

Основні запобіжні заходи і правила пожежної безпеки при експлуатації електричних та нагрівальних приладів, що використовуються у побуті, такі [23, 24]:

- нагрівальні прилади можна встановлювати тільки на негорючі підставки;
- забороняється залишати прилади, що включені, без нагляду;
- забороняється включати в одну розетку одночасно декілька приладів;
- необхідно спостерігати за щільністю контактів в місцях приєднання проводів приладів до вилки, клем між собою тощо;
- небезпечно замінювати запобіжники, що перегоріли, в приладах саморобними або плавкими запобіжниками;

Таким чином при розробці даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці:

1. Мікроклімат робочого середовища;
2. Освітлення робочого місця;
3. Електробезпека;
4. Пожежна безпека гуртожитку.

Також було проведено розрахунок освітленості робочого місця і надано рекомендації, щодо збільшення освітленості кімнати. Загалом умови праці на робочому місці та загальна безпека приміщення відповідає основним нормам.

Розділ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

На сьогоднішній день велика увага приділяється інтенсифікації та підвищенню ефективності виробництва на базі упровадження досягнень науково-технічного прогресу. Провідна роль у вирішенні даної проблеми відводиться машинобудуванню. Перед цією галуззю поставлені завдання підвищення якості продукції та продуктивності праці, зниження питомої металоємкості машин та обладнання. Саме тому технологічний процес виготовлення деталі має бути таким, щоб з найменшими витратами ресурсів забезпечити встановлений конструктором рівень якості [25].

У пояснювальній записці описані порядок і всі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Поршень»: технологічний контроль якості кресленика, аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у поршневому гідроаккумуляторі, вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування, визначення припусків та допусків аналоговим способом, призначення послідовності виконання операцій та проектування їх змісту, вибір устаткування та інструментів для кожної операції технологічного процесу та визначення елементів режимів різання аналоговим способом.

5.1 Технологічний розділ

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вихідним документом є її креслення. Технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до ГОСТ 14.206-73. У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі [26].

Деталь «Поршень» є складовою пневматичного гідроаккумулятора, виконує зворотно-поступальний рух в середині гільзи під дією тиску. Дана деталь має досить просту зовнішню форму. Її можна віднести до класу спеціальних деталей. Габаритні розміри деталі – 200x100. Деталь зображено на рис. 4.1. та 4.1.1

					ДП МА612.12.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- твердість: 143-229 МПа;
- температурний режим ковки: 1200 – 850°C;
- жаростійкість – до 650°C.

Вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування
Розробку технологічного процесу виготовлення деталі починають з вибору заготовки. Вибрати заготовку – означає визначити спосіб її отримання, розрахувати або підібрати за таблицями припуски на механічну обробку усіх поверхонь і вказати допуски на виготовлення заготовки. З економічної точки зору, матеріал деталі та її конфігурації у якості заготовки приймаємо калібрований круг Ø200мм, 3D модель зображена на рис. 5.2.

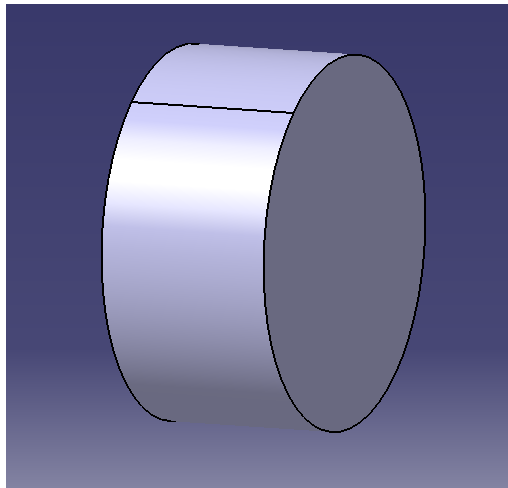


Рис. 5.2 3D модель заготовки

Користуючись ГОСТ 7505-89 визначимо розміри заготовки 200x100

5.2 Вибір типового технологічного процесу і обробка поверхонь

Операція 005 – токарна.

Обладнання: Токарний верстат 03 - Середній (патрон 6-12 ")

Різальний інструмент: Різець Din 4951 301001 0010, різець Din 4952 301005 0010

005.01 обробка поверхні діаметром 200 і довжиною 105мм

005.02 зняти фаску

Операція зображена на рис. 5.3.

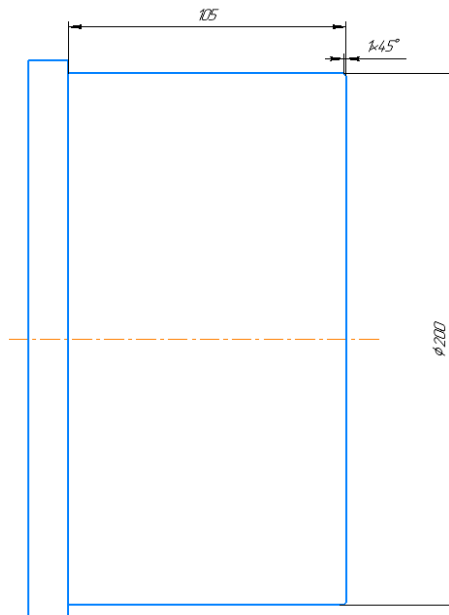


Рис 5.3 Операція 005 токарна

Операція 010 – токарна.

Обладнання: Токарний верстат 03 - Середній (патрон 6-12 ")

Різальний інструмент: Різець Din 4951 301001 0010, різець Din 4952 301005 0010

010.01 проточити канавки глибиною і шириною 4мм

010.02 Проточити канавку глибиною 6мм і шириною 8мм

Операція зображена на рис. 5.4

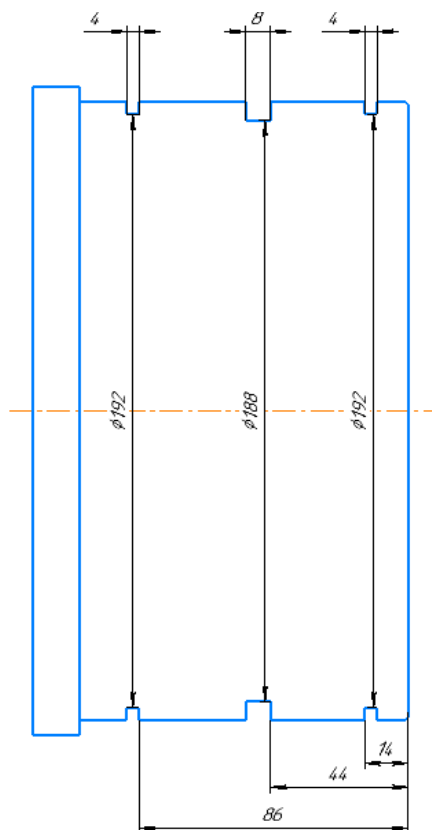


Рис. 5.4 Операція 010 токарна

Операція 015 – токарна.

Обладнання: Токарний верстат 03 - Середній (патрон 6-12 ")

Різальний інструмент: Різець Din 6951 301001 0010, різець Din 6952 301005 0010

015.01 Розточити зсередини поршня паз діаметром 140мм і глибиною 80мм

015.02 Розточити зсередини поршня паз діаметром 160мм і зробити внутрішнє скруглення радіусом 10мм

Операція зображена на рис. 5.5

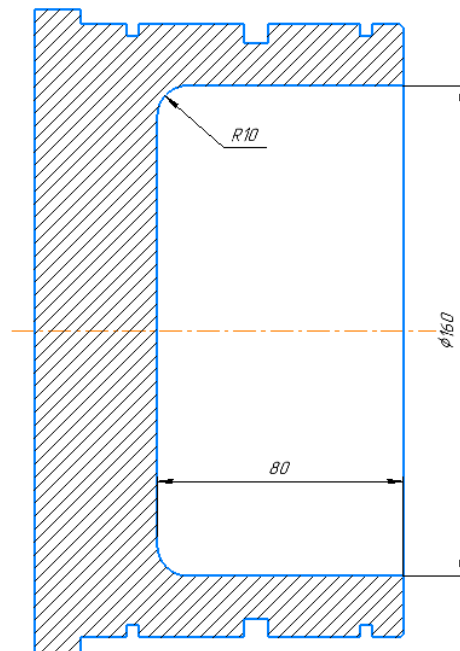


Рис. 5.5 Операція 015 токарна

Операція 020 – токарна.

Обладнання: Токарний верстат 03 - Середній (патрон 6-12 ")

Різальний інструмент: Різець Dln 1834 210105 0003,

020.01Шліфувати зовнішню поверхню довжиною 100мм до шорсткості
Ra=1.6

Операція зображена на рис. 5.6.

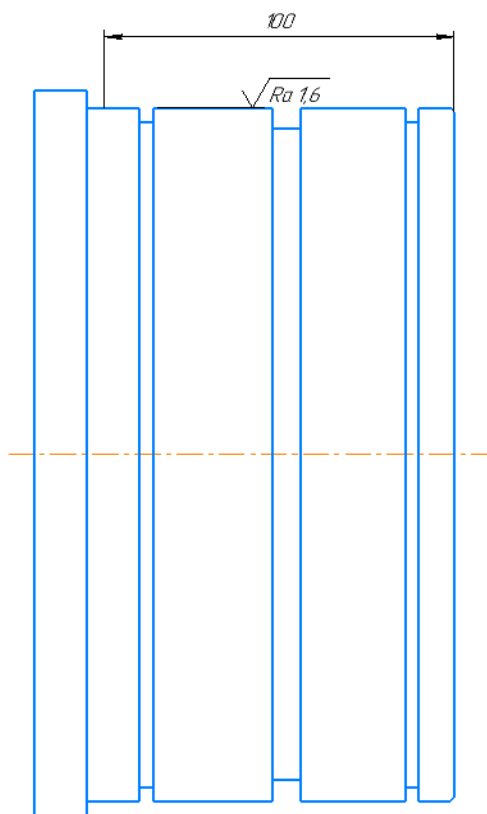


Рис. 5.6 Операція 020 токарна

Операція 0025 – токарна (кінцева).

Обладнання: Токарний верстат 03 - Середній (патрон 6-12 ")

Різальний інструмент: Різець Din 4951 301001 0010, різець Din 4952 301005 0010

025.01 прорізати заготовку на 5мм на відстані 100мм

025.02 зняти фаску

025.01 відрізати заготовку на відстані 100мм

Операція зображена на рис. 5.7.

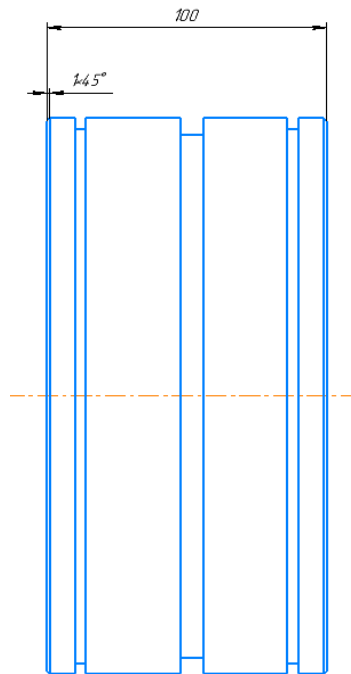


Рис. 5.7 Операція 025 токарна(кінцева)

Після опису всіх операцій проводять розрахунок вартості інструментів (табл 5.1).

Таблиця 5.1 Вартість інструментів

Інструмент	Назва	Інд. Код	Вартість, грн
Різець	Din	4951 301001 0010	125
		4952 301005 0010	127
		1834 210105 0003	240
		6951 301001 0010	141
		6952 301005 0010	150
Сума			783

Висновок: в даному розділі було проведено опис технологічного процесу виготовлення поршня гідропневматичного акумулятора. Було використано поетапну роботу виготовлення деталі та розраховано вартість інструментів обробки.

ВИСНОВКИ

В представленій дипломній роботі було проаналізовано типи автономних систем, способи їх реалізації, а також використання в побуті та промисловості. Модернізовано конструкцію автономного вітрогенератора з гідравлічною системою відбору потужності, а саме – підвищено ефективність роботи шляхом встановлення додаткового компенсаційного гідравлічного акумулятора. Було оцінено вплив зміни температури навколишнього середовища, якому часто піддаються подібні автономні системи, на роботу акумулятора та гідравлічної системи. Проведено дослідження існуючих типів гідроакумуляторів і оцінка сильних та слабких сторін кожного типу. В процесі було визначено, що для подібної системи найкраще підходять балонні та поршневі акумулятори, оскільки вони здатні акумулювати великий об'єм рідини. Для нашої задачі було обрано поршковий акумулятор, так як в ньому є можливість відслідковування поточного положення поршня, а відносно проста конструкція легко піддається модернізації.

Також було проведено спільне дослідження впливу акумулятора на лабораторному макеті гідравлічного привода змінної потужності. В результаті експерименту виявилось, що при недостатньому об'ємі акумулятора і швидкій зміні циклів зарядки/розрядки, акумулятор зменшує загальну потужність системи. Саме з цих причин мембранні типи акумуляторів не бажано використовувати в схемах. При цьому було встановлено, що використання гідроакумулятора дозволяє збільшити ККД вітроустановки за рахунок збільшення часу роботи системи в моменту пульсуючої вхідної потужності.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Michael P. Innovation on autonomous systems [Електронний ресурс] / P. Michael, C. Paul, C. Jach // Summary of event at the Royal Academy of Engeneering – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/innovation-in-autonomous-systems>.
- 2 Відстеження сонця [Електронний ресурс] // Токмак Солар Енерджі. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://vse.energy/docs/OEW-repkin.pdf>.
- 3 Вітрогенератор [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80>
- 4 Christopher A. B. Wind turbine TECHNOLOGY [Електронний ресурс] / Badurek Christopher A. // Encyclopedia Britanvika – Режим доступу до ресурсу: <https://www.britannica.com/technology/wind-turbine>.
- 5 .Jesper Liniger. Model-Based Estimation of Gas Leakage for Fluid Power Accumulators in Wind Turbines [Електронний ресурс] / Jesper Liniger, Henrik C. Pedersen, Mohsen Soltani // Conference: ASME/BATH 2017 Symposium on Fluid Power and Motion Control. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/321507589_Model-Based_Estimation_of_Gas_Leakage_for_Fluid_Power_Accumulators_in_Wind_Turbines.
- 6 Robot cleaner [Електронний ресурс]. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/KR20070107956A/en?q=robot+cleaning&assignee=Samsung+Electronics+Co.%2c+Ltd.&scholar>.
- 7 What robots do (and don't do) at Amazon fulfillment centers [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.aboutamazon.com/amazon-fulfillment/our-innovation/what-robots-do-and-dont-do-at-amazon-fulfillment-centers/>
- 8 Meet the Robots at Amazon [Електронний ресурс] // WGBH Educational Foundation 2018 – Режим доступу до ресурсу: https://www.pbs.org/wgbh/nova/?utm_source=promourl&utm_medium=direct&utm_campaign=nova_2019.

- 9 Hydrostatic Transmissions: A Power Play in Wind Turbine Design [Електронний ресурс] // 2013 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21883458/hydrostatic-transmissions-a-power-play-in-wind-turbine-design>.
- 10 Гидропривод. Основы и компоненты Учебный курс по гидравлике – Москва: ООО "Бош Рекстрот" The Drive & Control Company, 2003. – 322 с.
- 11 Каталог рідин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://donterminal.com.ua/uk/hydransafe-frs-46/p741>
- 12 Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Трифон Максимович Башта. – Ленинград: "Машиностроение", 1972. – 320 с.
- 13 Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода: Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. - Київ: Техніка, 1977. - 322 с.
- 14 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. -М. : Машиностроение, 1977. - Т. 1-3.
- 15 Fire-resistant hydraulic fluids – water-containing (HFAE, HFAS, HFB, HFC) [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/industrial_hydraulics_5/pdfs_4/re90223.pdf.
- 16 Каталог Поршневих Акумуляторів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://motorimpex.ua/files/downloads/E3301_SK_Katalogversion.pdf.
- 17 Каталог продукції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/mediadirectory?language=en-GB&publication=NET&filterMediatype=1584&search_query=22049&search_action=submit&pi=974EFEB0-D8C0-37C1-DCF4E1C2D4D3672D_IC_82&edition_enum=re22049.
- 18 Каталог продукції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hydraulicline.ua/catalog/filtry-gidravlicheskie/>
- 19 Каталог продукції Bosch [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.boschrexroth.com/ics/cat/?cat=Industrial-Hydraulics->

Catalog&m=DE&u=si&o=Desktop&p=p652530&pi=974EFEB0-D8C0-37C1-DCF4E1C2D4D3672D_ICS_82.

- 20 Поліщук Д. В. Адаптивна система гідроприводу з трьома рівнями потужності [Електронний ресурс] / Дмитро Володимирович Поліщук. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31383/1/Polishchuk_magistr.pdf.
- 21 ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» від 1 грудня 1999 р.
- 22 ДБН В.2.5-28-2018 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» від 3 жовтня 2018 р.
- 23 НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» від 9 січня 1998 р.
- 24 Закон України «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні» від 3 жовтня 2017 р.
- 25 Технологія машинобудування: [Текст]: метод. вказівки до практичних занять та самостійної роботи для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" /Уклад.: С.С.Добрянський, В.К.Фролов, Ю.М. Малафєєв – К.: НТУУ «КПІ», 2012. - 67 с. (електронне видання).
- 26 Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М.Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, М. С. Островский. – Под ред. В. А. Тимирязева. Учебное пособие для машиностроит. спец. вузов. - 2-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 272 с. – Для студентов машиностроительных специальностей вузов